

Opinnäytetyö (AMK)

Kala- ja ympäristötalous

2011

Johanna Piipanoja

VIRTAAMAN SEKÄ KIINTOAINE- JA RAVINNEKUORMITUKSEN MITTAAMINEN VIRTAAVISSA VESISSÄ JATKUVATOIMISILLA MITTALAITTEILLA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Johanna Piipanoja

VIRTAAMAN SEKÄ KIINTOAINE- JA RAVINNEKUORMITUKSEN MITTAAMINEN VIRTAAVISSA VESISSÄ JATKUVATOIMISILLA MITTALAITTEILLA

Vesiensuojelu sai Suomessa alkunsa 1960-luvulla. Nykyään vesiensuojelun keskeisimpiä tavoitteita on saada maatalouden päästöt kuriin. Maatalouden vesiensuojelussa tulisi ehkäistä maa-aineksen eroosiota ja vähentää lannoitusta. Eroosion seurauksena maa-ainesta huuhtoutuu vesistöihin, ja tämän on havaittu heikentävän veden fysikaalista laatua. Vesi kuljettaa pelloilta myös ravinteita. Niiden huuhtoutuminen tapahtuu usein nopeina pulsseina. Jatkuvatoiminen veden laadun mittaus antaa uutta ja tarkempaa tietoa peltovaltaisen valuma-alueen ravinnekuormituksesta. Vedenlaatua seurataan, jotta vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta ja sen vaikutuksia pystytään arvioimaan.

Työssä tutkitaan kolmelta maatalousvaikutteiselta valuma-alueelta jatkuvatoimisilla vedenlaatumittareilla kerättyjä vedenlaatuaineistoja. Kaikissa kohteissa mitattiin vedenlaadun lisäksi pinnankorkeutta. Jatkuvatoimisen datan lisäksi kustakin kohteesta on otettu vesinäytteitä laboratoriossa analysoitavaksi. Vesinäytteillä varmistetaan jatkuvatoimisten mittalaitteiden tuottaman datan laatu, ja niistä voidaan laskea sellaisia kuormitusarvoja, joita mittalaitteet eivät suoraan mittaa.

Tuloksissa käy ilmi, että sekä kiintoaineen että ravinteiden kuormitushuiput saavutetaan virtaamahuippujen yhteydessä. Suurimmat kuormitusajankohdat sijoittuvat kasvukauden ulkopuolelle, kevättulvien ja syyssateiden aikaan.

Työssä havaittiin, että säännöllisellä laitteiden huoltamisella ja kalibroimisella taataan korkealaatuinen, luotettava data. Laitteet soveltuvat hyvin virtaavien vesien laadun mittaamiseen, kun jokaisen kohteen huolto- ja kalibroitivälit suunnitellaan kohteen vaatimalla tavalla.

ASIASANAT:

Vedenlaatu, valuma-alue, jatkuvatoiminen, veden laadun mittaaminen, kiintoaine, ravinteet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree programme for fisheries and environment

8.4.2011 | 93

Olli Loisa, Antti Kaseva

Johanna Piipanoja

THE CONTINUOUS MONITORING SENSORS IN MEASURING FLOW RATE, SOLIDS AND NUTRIENT LOADING IN RUNNING WATERS

Water conservation in Finland originates to the 1960's. Today, one of the main goals of water conservation efforts is to decrease nutrient loading of agricultural origin. Agricultural water conservation should aim at preventing soil erosion and decreasing the fertilization use. It has been observed that the physical quality of waters is weakened by erosion-related washout of soil to waterways. Nutrients also leach from the fields in rapid pulses. Water quality monitoring with continuous monitoring sensors produces novel and more accurate information on the nutrient loading of a field-intensive drainage area. Water quality is monitored in order to be able to evaluate the loading amount and effects on waterways.

In this thesis, continuous monitoring water quality data from three field-intensive drainage areas is presented. Water surface level was monitored at all target areas in addition to water quality. Grab samples were also collected from each site and analyzed in the laboratory in addition to continuous monitoring data. Grab samples are used for ensuring the data quality of continuous monitoring equipment and for measuring such parameters which cannot be measured directly with measurement devices.

The results show that both solid matter and nutrient peak loadings concur with peak flow rates. Greatest load periods occur outside periods of growth, during spring flooding and autumn rains.

It was observed that with regular maintenance and calibration of equipment high quality, reliable data acquisition can be guaranteed. The equipment suits running water quality measurement well when the maintenance and calibration of each target is planned according to site requirements.

KEYWORDS:

Water quality, drainage area, continuous monitoring, water quality measurement, solid matter, nutrients

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Maatalous vesien kuormittajana	6
1.2 Veden laadun seuranta Suomessa	12
1.3 Opinnäytetyön taustaa	16
2 MENETELMÄT	18
2.1 Jatkuvatoiniset veden laadun mittalaitteet	18
2.1.1 YSI moniparametrisondi	18
2.1.2 Scan Nitrolyser	21
2.2 Pinnankorkeus ja virtaama	24
2.2.1 Pinnankorkeusasema	24
2.2.2 Virtaamamittaukset	25
2.3 Näytteenotto	27
2.4 Ohjelmat	27
2.5 Kohteet	27
2.5.1 Krapuoja	28
2.5.2 Nautela	33
2.5.3 Jokioja	39
3 TULOKSET	41
3.1 Krapuoja	41
3.2 Nautela	61
3.3 Jokioja	68
4 TULOSTEN TARKASTELU	80
4.1 Virtaama	80
4.2 Kiintoainekuormitus	81
4.3 Ravinnekuormitus	84
4.4 Vesinäytteet	85
4.5 Tekniset ja ympäristötekijät	86
5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	90
LÄHTEET	91

LIITTEET

- Liite 1. Krapuojan pH ja happipitoisuus
Liite 2. Nautelan sähkönjohtavuus, pH ja happipitoisuus
Liite 3. Jokiojan sähkönjohtavuus

KUVAT

Kuva 1. YSI 6000-sarjan moniparametrisondi.	19
Kuva 2. Scan Nitro::lyser.	22
Kuva 3. S::canin virtalähde sekä paineilmapullo maastossa. Kuvan laitteisto on manuaalisesti ladattava ja paikan päällä valvottava.	23
Kuva 4. Keller DCX-22VG pinnankorkeusanturi.	25
Kuva 5. Flowtracker virtausmittari.	26
Kuva 6. Kohteet kartalla. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.	28
Kuva 7. Krapuojan kosteikko. Oikealla suunniteltu tulvaniitty.	29
Kuva 8. Krapuojan valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.	30
Kuva 9. Krapuojan tuleva mittauspiste.	31
Kuva 10. Krapuojan lähtevä mittauspiste.	32
Kuva 11. Nautelan kohteen valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.	34
Kuva 12. Nautelan mittapato ja kemikaaliannostelija.	35
Kuva 13. Nautelan kemikaaliannostelija.	36
Kuva 14. Nautelan tuleva mittauspiste.	37
Kuva 15. Nautelan lähtevä mittauspiste.	38
Kuva 16. Jokiojan kohteen valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.	39
Kuva 17. Jokiojan mittauspiste.	40
Kuva 18. Krapuojan virtaama 8.4.2009. $Q=0,43 \text{ m}^3/\text{s}$.	47
Kuva 19. Krapuojan virtaama 22.9.2009. $Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$.	47
Kuva 20. Krapuojan virtaama 11.3.2010. $Q=0,07 \text{ m}^3/\text{s}$.	48
Kuva 21. Nautelan virtaama 20.8.2010. $Q=0,001 \text{ m}^3/\text{s}$.	64
Kuva 22. Nautelan virtaama 16.11.2010. $Q= 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$.	64

KUVIOT

Kuvio 1. Krapuojan tulevan (N=23200) ja lähtevän (N=24127) mittauspisteen veden lämpötilan vuorokausikeskiarvot.	42
Kuvio 2. Krapuojan tulevan (N=23049) ja lähtevän (N=22925) veden sähkönjohtavuuden vuorokausikeskiarvot.	43
Kuvio 3. Krapuojan purkautumiskäyrä.	45
Kuvio 4. Krapuojan virtaama m ³ /s (N=19719).	46
Kuvio 5. Krapuojan jatkuvatoimisten mittalaitteiden sameuksien ja laboratorionäytteiden sameus- ja kiintoainetulosten vertailu.	49
Kuvio 6. Krapuojan tulevan (N=22628) ja lähtevän (N=22680) veden vuorokausikeskiarvot kiintoaineesta (mg/l) ja laboratorioanalyysien (N=19) tulokset.	50
Kuvio 7. Krapuojan tulevan ja lähtevän mittauspisteen kiintoainekuormitus tonneissa sekä virtaama 1000 m ³ kuukausittain.	51
Kuvio 8. Krapuojan jatkuvatoimisten mittalaitteiden sameuksien ja laboratorionäytteiden fosforitulosten vertailu.	53
Kuvio 9. Fosforipitoisuudet (µg/l) tulevassa (N=22628) ja lähtevässä (N=22680) mittauspisteessä vuorokausikeskiarvoina. Käyrälle on sijoitettu myös laboratorionäytteiden (N=19) fosforipitoisuudet.	54
Kuvio 10. Krapuojan tulevan ja lähtevän mittauspisteen fosforikuormitus kilogrammoissa kuukausittain.	55
Kuvio 11. S::canin nitraattitypen ja laboratorionäytteiden kokonaistypen vertailu ja muunnokseen käytetty regressioyhtälö.	56
Kuvio 12. S::canin nitraattitypen ja laboratorionäytteiden nitraattitypen vertailu ja muunnokseen käytetty regressioyhtälö.	57
Kuvio 13. Krapuojan tulevan (N=19986) ja lähtevän (N=19804) mittauspisteen typpipitoisuudet sekä laboratorionäytteiden tulokset (N=19).	58
Kuvio 14. Krapuojan tulevan (N=19986) ja lähtevän (N=19804) mittauspisteen nitraattityppipitoisuudet sekä laboratorionäytteiden tulokset (N=19).	59
Kuvio 15. Krapuojan kuukausittaiset kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormat.	60
Kuvio 16. Nautelan tulevan (N=4794) ja lähtevän (N=4796) mittauspisteen veden lämpötilan tulokset.	61
Kuvio 17. Nautelan virtaama m ³ /s (N=4933).	63
Kuvio 18. Nautelan sameustulokset tulevan mittauspisteen S::canista (N=5027) ja YSIstä (N=4876), sekä lähtevän mittauspisteen S::canista (N=5092) ja YSIstä (N=5012).	66
Kuvio 19. Nautelan kohteen tulevan (N=4982) ja lähtevän mittauspisteen (N=3348) nitraattitulokset.	67
Kuvio 20. Jokiojan veden lämpötila kolmella eri laitteella mitattuna, S::can (N=3346), YSI (N=2207) ja Keller (N=3553).	68
Kuvio 21. Jokiojan purkautumiskäyrä.	69
Kuvio 22. Jokiojan virtaama m ³ /s (N=3553).	70
Kuvio 23. Jokiojan jatkuvatoimisen mittalaitteen sameustulosten ja laboratorionäytteiden sameus-, kiintoaine- ja fosforitulosten vertailu.	72
Kuvio 24. Jokiojan kiintoainetulokset (N=3394) vuorokausikeskiarvoina ja laboratorionäytteiden kiintoainetulokset (N=5).	73
Kuvio 25. Jokiojan kiintoainekuormitus tonneissa ja virtaama m ³ /s.	74

Kuvio 26. Jokiojan fosforipitoisuuksien (N=3394) vuorokausikeskiarvot ja laboratorionäytteiden fosforitulokset (N=5).....	75
Kuvio 27. Jokiojan fosforikuormitus vuorokausikeskiarvoina kilogrammoissa.....	76
Kuvio 28. Jokiojan kohteen S::canin mitaaman nitraattitypen mg/l vertailu laboratoriomääritysten kokonaistyyppituloksiin mg/l.....	77
Kuvio 29. Jokiojan kohteen S::canin mitaaman nitraattitypen mg/l vertailu laboratoriomääritysten nitraattityypituloksiin mg/l.....	78
Kuvio 30. Jokiojan kokonaistyyppi- ja nitraattityypikuormitus vuorokausikeskiarvoina kilogrammoissa.....	79
Kuvio 31. Kahden vuorokauden mittausjakso Nautelasta S::canin sameustuloksista, joissa nähdään puhdistuksen vaikutus.....	83
Kuvio 32. Jokiojan moniparametrisondin mitaama happidata.....	88

TAULUKOT

Taulukko 1. Typen kiertokulku luonnossa. (Itämeriportaali 2003).....	7
Taulukko 2. Valmistajan ilmoittamat mittaustarkkuudet YSI 6000-sarjan moniparametrisondilla tutkituille parametreille (YSI Incorporated 2010).	19

1 JOHDANTO

1.1 Maatalous vesien kuormittajana

Lähes 60 % Suomen joista on yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan alle hyvän tilan. Yleinen käyttökelpoisuusluokitus painottuu vesien kemiallista tilaa kuvaaviin muuttujiin, mutta huomioi myös morfologiset ja biologiset muutokset. (Nyroos ym. 2006, 13.) Merialueilla rannikon läheisyydessä rehevöityminen on lisääntynyt niin, että käyttökelpoisuusluokitus on monin paikoin muuttunut hyvästä tyydyttävään, erityisesti Saaristomerellä ja Suomenlahdella. (Nyroos ym. 2006, 15) Sekä sisävesien että Itämeren pahin uhka on rehevöityminen, ja vesien ravinnekuormitusta pyritään vähentämään kaikista toiminnoista, erityisesti maataloudesta. (Valtioneuvosto 2009)

Lyhyesti rehevöityminen on 'hyvin ravittua', jolla tarkoitetaan liiallisia määriä ravinteita kuten typpeä, fosforia ja joskus orgaanisia aineita kuten hiiltä. Rehevöityminen aiheuttaa muutoksia koko vesiekosysteemin rakenteessa ja toiminnassa sekä vähentää ekosysteemin vakautta. (Helsinki Commission 2009, 7.)

Ranta- ja vesilajien uhanalaistuminen on rehevöitymisen seurausta. Ravinteet huuhtoutuvat ojitetuista pelloista vesien mukana ja aiheuttavat vesien rehevöitymistä. Merkkejä tästä ovat muun muassa vesialueiden umpeenkasvu ja rantaniittyjen umpeenkasvu laidunnuksen loputtua. (Nyroos ym. 2006, 23.) Myös virkistysarvo heikkenee rantojen madaltumisen myötä. (Alakukku ym. 2008)

Kaikki mikro- ja makrolevät käyttävät typpeä ja fosforia pääravinteinaan. Näiden saatavuus säätelee perustuotantoa ja ylitarjonta voi aiheuttaa rehevöitymistä vesistöissä. (Itämeriportaali 2010.)

Fosfori esiintyy luonnossa pääasiassa ortofosfaattina (PO_4^{3-}). (Itämeriportaali 2010) Lannoitekäytössä fosfori on usein helppoliukoisessa muodossa, jolloin se sitoutuu maa-ainekseen tehokkaasti. Fosfori kulkeutuu vesistöihin

eroosiolietteen mukana. (Valste ym. 2002, 122.) Levät sitovat fosforin pintavedessä, se vajoaa orgaanisena hiukkasaineena vesistön pohjalle, ja muuttuu hajotustoiminnan kautta takaisin epäorgaaniseen muotoon. Riippuen hapen saatavuudesta, fosfori joko sitoutuu pohjasedimenttiin tai vapautuu pohjanläheisiin vesikerroksiin. Fosfori muuttuu liukoiseen muotoon ja vapautuu veteen hapettomissa oloissa. Tämä muuttaa pohjanläheisen veden runsasravinteiseksi. Runsasravinteinen vesi päätyy pintavesiin jälleen levien käyttöön kumpuamisen seurauksena. (Itämeriportaali 2010.)

Fosfori pidättyy helposti vesien pohjalietteeseen ja maaperään. Tämän vuoksi fosforin kierto luonnossa on melko paikallista. Kasvit käyttävät fosforia fosfaattina. Fosfori on monissa ekosysteemeissä minimitekijä, jonka takia se päätyy nopeasti uuteen ravintoketjuun hajottajien vapauttamana. (Valste ym. 2002, 121.)

Typpeä on ilmakehässä noin 78 % joka tekee siitä ilmakehän pääkomponentin. Kun se on kaasumaisessa muodossa, on se kaksiatominen molekyyli N_2 . Tässä muodossa ollessaan typen rikkomiseen tarvitaan paljon energiaa, jonka vuoksi kasvit eivät sitä ota käyttöön runsaasta saatavuudesta huolimatta. Typpeä käytetään viljasatoa lisäävänä lannoitteena. (Perttilä 2003.)

Vesistöissä typpeä esiintyy molekulaarisena typpenä, ammoniakkina, nitraattina, nitriittinä, liuenneina orgaanisina yhdisteinä ja orgaanisessa hiukkasaineuksessa. (Perttilä 2003) Typen kiertokulun reaktioketju luonnossa on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Typen kiertokulku luonnossa. (Itämeriportaali 2003)

$N_2 \rightarrow$	$NH_3 \rightarrow$	$NO_2 \rightarrow$	$NO_3 \rightarrow$	$R-HNO_2 \rightarrow$	proteiinit
typpi	ammoniakki	nitriitti	nitraatti	aminohapot	

Sinilevät pystyvät pelkistämään ilmakehän typpeä, jonka takia typpikaasun sitoutuminen orgaanisiin yhdisteisiin vesiekosysteemeissä tapahtuu sinilevien avulla. Tämän jälkeen tapahtuu mineralisaatio, eli typpi muuttuu epäorgaaniseksi yhdisteiksi, ensin ammoniakiksi ammonifikaatioreaktiolla. Tämän jälkeen tapahtuu nitrifikaatioprosessi, jossa happi hapettaa ammoniakin nitraatiksi mikro-organismien toimiessa välittäjinä. Nitraattisuolat aiheuttavat rehevöitymistä eivätkä varastoidu maaperään, sillä ne ovat hyvin vesiliukoisia. (Perttilä 2003.)

Nitraatit muuttuvat typpikaasuksi denitrifikaatioprosessissa. Tämä on mikro-organismien välittämä reaktio, joka voi tapahtua sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa maaperässä, vesistöissä tai sedimentissä. Typen epäorgaaniset muodot, ammoniakki, nitriitti ja nitraatti ovat kaikki kasvien ja mikro-organismien käyttämiä ravinteita. (Perttilä 2003) Typellä on luonnossa moninaisia käyttötapoja, joka Perttilän (2003) mukaan ”perustuu sen atomien elektronirakenteesta aiheutuvaan mahdollisuuteen esiintyä useilla eri hapetusasteilla”.

Ravinteet päätyvät Itämereen jokien ja ilman kautta hajakuormituksena, tai pistekuormituksena esimerkiksi jäteveden puhdistamoista tai tehtaista. Myös sääoloilla on havaittu olevan vaikutusta kuormitukseen esimerkiksi typen osalta. Typen kuormitus korreloi valunnan kanssa ja rannikkoalueiden typpipitoisuudet seuraavat valunnan vaihteluita. (Hauta- Aho 2004, 6–7.) Valuma-alueen ravinnekuormitus voidaan jakaa kahteen eri lähteeseen, luonnonhuuhtoumaan ja ihmisen aiheuttamaan. Valuma-alueen tyyppistä merkittävä osa voi tulla ilmalaskeumana valuma-alueen ulkopuolelta, kun taas valtaosa fosforikuormituksesta tulee hiukkasiin sitoutuneena. (Ympäristöhallinto 2009.)

Itämeri on maailman suurimpia murtovesialueita maailmassa. Se on 415,000 km² suuruinen alue, johon vaikuttaa suuresti ilmaston kiertokulku ja hydrologiset prosessit valuma-alueilla. (The BACC Author Team 2008, 3.)

Ihmistoiminnoista peräisin olevasta fosforikuormituksesta noin 60 % ja typpeikuormituksesta noin 50 % aiheutuu maataloudesta. Erilaisia toimenpiteitä maatalouden kuormituksen pienentämiseksi on toteutettu, mutta toistaiseksi ne ovat olleet riittämättömiä ja maatalouden kuormitus on edelleen voimakasta Etelä- ja Länsi-Suomessa. Ravinnemäärät maaperässä ovat pitkän aikavälin tulos, jonka takia maatalouden typpi- ja fosforikuormituksessa ei ole havaittu merkittävää valumasta riippumatonta vähenemistä 1990-luvun ja 2000-luvun alkupuolien välillä. (Nyroos ym. 2006, 23.) Maatalous on monimuotoista toimintaa jota harjoitetaan erilaisissa ympäristöissä. Sääolot vaikuttaa sen onnistumiseen merkittävästi. Muun muassa nämä tekijät hankaloittavat maatalouden vesiensuojelutoimia. (Kulmala 2008)

Pelloilta huuhtoutuvasta kuormituksesta suurin osa ei tapahdu kasvukauden aikana, vaan loka-toukokuun välillä. Kuormitushuiput tapahtuvat kasvukauden jälkeen syksyllä syyssateiden seurauksena, ja keväällä roudan ja lumen sulaessa. (Alakukku ym. 2008.)

Tutkimuksissa on käynyt ilmi, että pelloilta huuhtoutuva kuormitus syntyy nopeina pulsseina. Koska tämä tapahtuu nopealla syklillä, ei yksittäisillä vesinäytteillä saada todellista vaihtelua veden laadussa selville. Tällä on todettu olevan merkitystä ravinnekuormien laskemisessa, johon saadaan paljon tarkempi kuva jatkuvatoimisella automaatioseurannalla. (Valkama ym. 2010, 1.)

Tutkimusten mukaan fosfori- ja typpeikuorma muodostuvat eri tavalla maatalousvaltaisissa virtavesissä. Fosforipitoisuuden maksimitilanne saavutetaan ennen tulvahuippua, sillä se syntyy suurimmaksi osaksi peltojen pintavalunnasta ja salaojaputkien kautta huuhtoutuvan kiintoaineen mukana. Typpeikuorma muodostuu lähinnä salaojien kautta tulevan huuhtouman mukana, kun taas nitraattipitoisuudet saavuttivat huippunsa vasta virtaamahuipun jälkeen. (Valkama ym. 2010, 1.)

Typen ja fosforin käyttö maataloudessa on tehostunut selvästi viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Vähenemistä on tapahtunut väkilannoitteiden typpimäärissä 20 %, karjalannan typpikiloissa 25 % ja

fosforimäärissä 15 % sekä fosforilannoittamisessa lähes 70 %. (Salo 2010; Salo 2009.)

Eroosio on kuormitusta aiheuttava tekijä. Eroosiolla tarkoitetaan maaperän kiintoaineen siirtymistä alkuperäisestä paikasta toisaalle joko veden tai tuulen mukana. Suomen sateet ovat maltillisia, jonka takia eroosio on harvoin Suomessa niin suurta, että silminnähtävä osa maata tai sen pintakerrosta huuhtoutuisi pois sadeveden mukana. Vuosittainen eroosiosta aiheutunut kiintoainekuorma on noin 600 kiloa hehtaarilta. Selvästi yli puolet kiintoainekuormituksesta savimailla voi tulla pelloilta salaojavalunnassa. (Alakukku ym. 2008.)

Eroosio aiheuttaa myös fysikaalista heikentymistä veden laadussa muun muassa samentamalla sitä. Samentuminen voi vaikuttaa negatiivisesti vesistön eliöihin. Vesistövaikutusten ohella myös viljelymaiden laatu kärsii eroosiosta, sillä pelloilta vesistöihin poistuva maa-aines on parasta viljelymaata. (Alakukku ym. 2008.)

Pellon normaalitilanteessa fosfori on sitoutuneena maa-aineksen pinnalle. Fosfori kulkeutuu eroosiotilanteessa maapartikkeleihin sitoutuneena vesistöihin. Savimailla maapartikkeleihin sitoutuneen fosforin osuus on 60 % kokonaisfosforihuuhtoumasta. Kynnetyiltä pelloilta voi kiintoaineksen mukana kulkeutua jopa 90 % fosforikuormituksesta, kun nurmi- tai sänkipeltojen partikkelifosforin osuus on huomattavasti pienempi. Partikkelien kulkeutuessa yhä vähäsuolaisempiin ja väljempiin vesiin, muuttuvat olot koko ajan suotuisammiksi fosforin vapautumisen kannalta. Tällä tavalla leville käyttökelpoinen liukoinen fosfori irtoaa maa-aineksesta. (Alakukku ym. 2008.)

Fosfori rajoittaa useimmiten sisä- ja rannikkovesien perustuotantoa, jonka takia sen vähentämistä pidetään tärkeänä vesiensuojelussa. Pitkäaikainen fosforikuormitus aiheuttaa leväkukintoja. Talviaikaan levien hajoamisesta aiheutuva hapenkulutus saattaa johtaa happikatoihin tai kalojen joukkokuolemiin. (Alakukku ym. 2008)

Ilmastonmuutos saattaa aiheuttaa rehevöitymisen ja sinileväkukintojen voimistumista lämpenevien kesien myötä. Arvioiden mukaan lisääntyvät talvisateet huuhtovat enemmän ravinteita mukanaan ja siten osaltaan lisäävät rehevöitymistä. (Knuuttila 2007, 1414.)

Suojavyöhykkeet ja peltojen talviaikainen kasvipeite ovat eroosion torjuntaan tarkoitettuja ympäristötuen toimia. Typpikuorma vaikuttaa olennaisesti Itämereen. Sitä voidaan rajoittaa ympärivuotista kasvipeitteisyyttä lisäämällä, maan muokkausta vähentämällä ja typpilannoitusta tarkentamalla. (Turtola 2008.)

Salaojaputkistojen takia eroosion torjuntatoimia tulee tehdä koko pellon alueella, eikä vain reunoilla. Ennakoivat toimet on todettu parhaiksi maatalouden vesiensuojelutoimissa. Ennakoivilla toimilla pyritään Alakukun ym. mukaan ”veden liikkumista ja ravinteiden sitoutumista säätelevien prosessien hallintaan pellolla ennen ojaa ja vesistöä”. (Alakukku ym. 2008)

Maatalouden vesiensuojelutoiminnassa tulisi siis ehkäistä maa-aineksen eroosiota. (Alakukku ym. 2008) Lannoituksen vähentämisen lisäksi tulisi eroosion torjumisen olla keskeinen maatalouden vesiensuojelutoimi. (Särkelä ym. 2006, 20; 25) Kosteikoilla ja suojavyöhykkeillä voi olla suurikin merkitys paikallisesti, vaikka ne vähentävät maamme maatalouden kuormituksesta Alakukun ym. mukaan enintään 10 %. Kosteikoiden ja suojavyöhykkeiden toimimisen edellytys on, että ne ovat tarpeeksi suuria. Ne ovat vesiensuojelussa vain varmentavia toimia. (Alakukku ym. 2008.)

Erilaiset kansalliset ja kansainväliset sopimukset ja säädökset velvoittavat Suomea vesiensuojelullisiin toimenpiteisiin ja veden laadun parantamiseen tietyn ajan sisällä. Euroopan unionin vesipuitelidirektiivi julkaistiin vuonna 2000 ja sen tarkoitus on yhtenäistää EU:n vesiensuojelua. Sen tavoitteena on ehkäistä pinta- ja pohjavesien tilan heikkeneminen ja saavuttaa pintavesien hyvä tila vuoteen 2015 mennessä. (EU:n vesipolitiikan puitelidirektiivi 2011.)

EU:n vesipuitelidirektiivin lisäksi Suomella on muitakin vesiensuojelullisia velvoitteita. Ravinnepäästöille on asetettu enimmäisrajat ja Itämeren

rantavaltioille vähennysvelvoitteet Itämeren hyvän ekologisen tilan tavoittamiseksi vuoteen 2021 mennessä. Suomen vähennysvelvoitteisiin kuuluu 146 tonnia fosforia ja 1199 tonnia typpeä vuoteen 2021 mennessä. Suomea koskevat vähennykset toteutetaan Itämeren suojeleohjelman ja vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015–ohjelman mukaisesti. Ohjelma kattaa ympäristöongelmat Itämeressä, joita ovat muun muassa rehevöityminen ja biodiversiteetin uhat. (Ympäristöhallinto 2007.)

Keskeinen tavoite vesiensuojelussa on saada maatalouden päästöt kuriin niin, että vuoteen 2015 mennessä ne vähenisivät kolmanneksen. Pidemmällä aikavälillä tavoitteena on kuormituksen puolittaminen. (Valtioneuvosto 2009.)

1.2 Veden laadun seuranta Suomessa

Valuma-alue muodostuu alueen järvistä, lammista ja joista ja on vedenjakajan rajaama alue. (Uudenmaan ympäristökeskus 2010) Yleisimmin veden laatua tarkastellaan valuma-alueittain. (Muttilainen 2009, 7) Valuma-alueen maaperällä on merkitystä vedenlaatuun. Erityisesti sateiden jälkeen ovat savimaiden vedet harmaita, sillä savimaa on erityisen herkkää eroosiolle. Humusaineet puolestaan värjäävät veden ruskeaksi ja ovat happamia. Sitä liukenee vesistöihin turvemailta, ja humusaineet ovat peräisin hitaasti hajoavista kasveista kuten sammalista ja saroista. (Uudenmaan ympäristökeskus 2010.)

Valuntaoloihin vaikuttavat tekijät on jaettu kahteen osaan. Fysiografisiin eli aluetekijöihin kuuluvat geomorfologia, geologia ja kasvillisuus. Sadanta, haihdunta ja lämpötila puolestaan kuuluvat ilmastollisiin tekijöihin. (Korhonen 2007, 16.) Sadanta on eniten vaikuttava tekijä, kun tarkastellaan vuotuista vedenkorkeutta ja virtaamaa. (Korhonen 2007, 99)

Virtaamaoloihin vaikuttaa myös valuma-alueen koko, muoto ja järvisyys. Virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut ovat suurella ja runsasjärvisellä valuma-alueella maltillisempia kuin pienellä vähäjärvisellä valuma-alueella. Virtaamaolot ovat vuosikymmenten saatossa muuttuneet. Muutokseen ovat vaikuttaneet niin ihmistoiminta kuin ilmastotekijätkin. Ilmastolliset muutokset

ovat havaittavissa parhaiten vuoden sisäisessä kulussa. Talven ja kevään hydrologisissa oloissa on nähtävissä suurimmat muutokset. (Korhonen 2007, 100.)

Pinnankorkeuden ja virtaaman seuranta on olennainen osa hydrologisen kiertokulun tarkkailua. Tietoa virtaamasta tarvitaan muun muassa vesiensuojelutoimissa. Suomessa on pitkä historia virtaaman ja pinnankorkeustietojen keräämisessä, ensimmäiset havainnot on kirjattu jo 1800-luvun puolivälissä. Pisin päivittäin mitattu katkeamaton sarja pinnankorkeustiedoista on Saimaan Lauritsalasta, alkaen vuodesta 1847. Parisenkymmentä 1800-luvulla aloitetuista vedenkorkeusasteikoista on käytössä vielä tänäkin päivänä. (Korhonen 2007, 7.)

Suomessa on pitkä historia vesiensuojelussa. Se alkoi jo 1960-luvulla, ja nykyään sille on määritelty valtakunnalliset tavoitteet vesiensuojelun tavoiteohjelmilla. Tavoiteohjelmien lähtökohta on ollut, että vedenlaatua eniten haittaavat kuormitustekijät ja muut sitä heikentävät toiminnot saataisiin kuriin. (Nyroos ym. 2006, 7.)

Vedenlaatua seurataan, jotta pystyttäisiin arvioimaan vesistöön kohdistuvia kuormituksia ja niiden vaikutuksia, eri kuormitustekijöitä, niiden osuutta ja vaikutusalueen laajuutta. Seurannat voivat kattaa vesistöjä aina yksittäisestä vesistöstä koko Suomeen. Jotta veden laadun muuttujien vaihtelut saadaan selville, on keskeistä se, että seurantoja järjestetään pitkällä aikavälillä samassa paikassa samaa menetelmää noudattaen. Tällöin saadaan arvokasta tietoa muun muassa maankäytön muutosten vaikutuksista vesistöjen tilaan. Erityisesti virtavesissä on veden laadun havaittu muuttuvan luonnostaan voimakkaasti jopa lyhyen ajan sisällä. (Mutttilainen 2009, 7.)

Suomessa vedenlaatua tarkkailevat monet eri tahot. Suomen ympäristöviranomaisilla on lakisääteinen velvollisuus olla tietoinen ympäristön tilasta. Velvoitetarkkailu taas kuuluu niille, jotka merkittävästi kuormittavat vesistöä. Näiden tahojen tulee tarkkailla purkuvesiensä tilaa joko vesi- tai ympäristösuojelulain mukaisin päätöksin. Tällaisia tahoja ovat muun muassa

jäteveden puhdistamot ja turvetuotanto. (Etelä-Savon ympäristökeskus 2005.) Lisäksi vedenlaatua seuraavat erilaiset yhdistykset ja tutkimustahot, kuten Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry.

Suomessa ja muualla maailmalla veden laadun määrittäminen perustuu pistemäisiin mittauksiin. Näiden toivotaan kuvaavan mahdollisimman hyvin tutkittavaa vesistöaluetta. Tällaiset mittaukset johtavat kuitenkin helposti suureiden yli- tai aliarvioimiseen. Jatkuvatomistilla antureilla saadaan tietoa veden laadun muuttujista, ja niiden mittaamassa datassa näkyy usein ilmiöitä, joihin yksittäisillä laboratorioanalyysillä ei päästä käsiksi. (Huttula ym. 2004.)

Tekniikan kehityksen myötä, on jatkuvatomistien mittalaitteiden käyttö vedenlaadun mittaamisessa lisääntynyt. Automaattisilla mittausjärjestelmillä on tarkoitus saada luotettavaa ja reaaliaikaista dataa vesistön vaihtelevista oloista, jotka saattavat muuttua hyvinkin nopeasti. Nykyaikaiset laitteistot koostuvat erilaisista tietoa keräävistä antureista, tiedonsiirto- ja hallintalaitteista. (Asp 2009, 9.)

Jatkuvatomisia mittalaitteita asennettaessa käyttökohteeseen, tulee asennettava laitteisto valita kohteen olosuhteiden mukaan. Esimerkkinä mainittakoon ravinteikkaat vedet, jotka vaativat mittaavilta antureilta automaattisen puhdistuksen likaantumisen estämiseksi. Mittalaitteet tulee huoltaa aina kohdekohtaisesti, ja huoltovälejä määritettäessä on otettava huomioon muun muassa puhdistus, jäätymisen esto ja kalibroinnit. (Huttula ym. 2009, 11.) Kaikki edellä mainitut toimet kuuluvat automaattisen datan laadun varmistukseen. (Huttula ym. 2009, 13)

Huttulan ym. mukaan ”seurantojen automatisoinnin hyödyt ovat kiistattomat”. Kustannustehokkuus säilyy vaikka mittaus- ja lähetysintervallit olisivat tiheämpiä, ja veden laadun kannalta tarpeeksi tiheästi mitatut katkeamattomat datasarjat saadaan lähes reaaliajassa käyttöön. Tarpeeksi tiheällä mittausintervallilla saadaan myös tietoa yllättävistäkin muutoksista veden laadussa, kuten rankkasateiden ravinnekuormasta. (Huttula ym. 2009, 14.)

Sen sijaan TEHO-hankkeen puitteissa tehdyissä veden laadun automaatioseurannoissa havaittiin edellisestä poikkeavia asioita. TEHO-hankkeen mukaan maastotyöaika ei vähene automaattiaseman myötä, sillä aikaa vievät huoltotoimenpiteet ja kalibrointinäytteenotto. Myös datan käsittely ja analysointi vaatii aikaa. Automaattinen ja pistemäinen näytteenotto eivät ole kustannuksiltaan suoraan verrannollisia toisiinsa, sillä tämän hetkinen automaatioseuranta ei suoraan mittaa kaikkia vedenlaatuun liittyviä muuttujia, joten johdannaismuuttujat on laskettava manuaalisesti. Tarvittava tieto siis ratkaisee, minkälaista mittaustapaa kulloinkin käytetään. (Lillunen ym. 2011.)

Jatkuvatoimisella veden laadun mittaamisella saadaan uutta ja tarkempaa tietoa siitä, kuinka suurta on peltovaltaisen valuma-alueen ravinnekuormitus. (Valkama ym. 2008) Puolessa tunnissa näkyy datassa nopeatkin vedenlaadun ja -määrän muutokset. Kuormitusarvioiden on myös todettu olevan luotettavampia, mitä useammin näytteitä otetaan. (Lepistö, Huttula ym. 2010, 10) Kokonaiskuva maatalouden ravinnekuormituksesta saattaa parantua merkittävästi, kun maankäyttötiedot yhdistetään jatkuvatoimiseen automaattiantureilla tehtävään veden laadun ja määrän mittaamiseen. Näillä tiedoilla voidaan lisätä tukien kohdentamismahdollisuuksien tietopohjaa. Automaattiantureilla pystytään samalla tarkentamaan myös muiden kuormituslähteiden, kuten metsätalouden, turvetuotannon ja asutuksen kuormitusarvioita. (Huttula ym. 2009, 15.)

1.3 Opinnäytetyön taustaa

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia virtaaman sekä kiintoaine- ja ravinnekuormituksen mittaamista virtaavissa vesissä jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Työssä käytetään kolmen Turun ammattikorkeakoulun T&K-hankkeen puitteissa kerättyjä aineistoja. Kohteet sijaitsevat Varsinais-Suomessa maatalousvaltaisilla valuma-alueilla ja niissä tutkittiin vedenlaatua jatkuvatoimisilla mittalaitteilla. Ne valittiin opinnäytetyöhön samankaltaisten tarkoituksperiensä vuoksi. Kohteet esitellään tarkemmin menetelmäosiossa käytettävien mittalaitteiden jälkeen.

Työssä käytettyjen aineistojen hankintaan on käytetty YSI moniparametrisondia, S::can mittausasemaa sekä Keller-paineanturia. Niiden lisäksi käytössä on joissain tapauksissa ollut tiedonsiirtoon tarkoitetut GSM-dataloggerit. Kaikkien jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittausintervalliksi on asennettu kussakin kohteessa puoli tuntia.

Lähetysyksiköihin kytkettyjen mittalaitteiden tulokset siirtyvät langattomasti ammattikorkeakoulun palvelimelle kahdesti päivässä, josta ne latautuvat salasanalla suojatulle nettisivulle. Nettisivujen kautta pystyy seuraamaan helposti datan laatua ja esimerkiksi antureiden kuntoa. Etävalvonta mahdollistaa myös reagoinnin virtaaman tai sameustulosten nousuun esimerkiksi vesinäytteiden ottoa varten.

Jatkuvatoimiset mittalaitteet eivät suoraan mittaa kiintoaineen tai ravinteiden määrää S::canin nitraattityypen mittauksia lukuun ottamatta. Tämän vuoksi tarvitaan manuaaliset laboratoriossa analysoitavat vesinäytteet jatkuvatoimisen datan rinnalle. Vesinäytteiden ja jatkuvatoimisen datan avulla saadaan muodostettua muunnoskaavat, joilla lasketaan kiintoaine- ja ravinnekuormitukset. Kuormituksia laskettaessa tarvitaan myös veden määrä. Vesinäytteillä saadaan myös todelliset mittaustasot, joilla pystytään varmentamaan laitteiden mittaustasojen oikeellisuus.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden aineistoja analysoidaan virtaaman sekä kiintoaine- ja ravinnekuormien määrällisten ja ajallisten muutosten kannalta. Työssä pohditaan myös mittalaitteiden ja laboratorionäytteiden vertailtavuutta sekä sitä, missä tapauksissa tulokset ovat käyttökelpoisia. Siinä pohditaan aineiston laatuun vaikuttavia teknisiä ja ympäristötekijöitä. Tuloksia analysoidessa otetaan huomioon tuloksissa esiintyviä virhelähteitä ja pohditaan mihin niistä pystytään vaikuttamaan jo etukäteen.

2 MENETELMÄT

2.1 Jatkuvatoiniset veden laadun mittalaitteet

2.1.1 YSI moniparametrisondi

Aineistojen hankintaan on käytetty 6000-sarjan YSI moniparametrisondia (kuva 1). Laitteeseen saa erilaisia anturikokoonpanoja. Työssä käytettyjen aineistojen hankintaan käytettiin viittä eri veden laadun parametria; lämpötilaa, sähkönjohtavuutta, happamuutta, sameutta ja happea. Sameuden ja hapen mittaamiseen käytetyt anturit ovat mittaustavaltaan optisia. Alla olevassa taulukossa 2 esitetään laitevalmistajan ilmoittamat mittaustarkkuudet moniparametrisondilla tutkituille parametreille.



Kuva 1. YSI 6000-sarjan moniparametrisondi.

Taulukko 2. Valmistajan ilmoittamat mittaustarkkuudet YSI 6000-sarjan moniparametrisondilla tutkituille parametreille (YSI Incorporated 2010).

Parametri	Mittausalue	Tarkkuus	Resoluutio
Lämpötila °C	-5 – 50 °C	+0,15 °C	0,01 °C
Happipitoisuus mg/l	0 – 50 mg/l	+ - 0,1 mg/l tai 1% lukemasta	0,01 mg/l
Hapen kyllästeisyysaste%	0 – 500 %	+ - 1% lukemasta tai 1%	0,1%
pH	0 – 14 yksikköä	+ - 0,2 yksikköä	0,01 yksikköä
Sameus	0 – 1000 NTU	+ - 2% lukemasta tai 0,3 NTU	0,1 NTU
Sähkönjohtavuus	0 – 100 mS/cm	+ - 0,5% lukemasta +0,001 mS/cm	0,001 – 0,1 mS/cm

Moniparametrisondi liitettiin lähetysyksikköön. Lähetysyksikkö siirsi laitteen mittaamat tulokset langattomasti Turussa sijaitsevalla ammattikorkeakoulun palvelimelle. Palvelimelta tulokset latautuivat automaattisesti salasanalla suojatulle nettisivulle. Tämä mahdollisti datan etävalvonnan ja nopean reagoinnin muun muassa virheelliseen dataan tai anturirikkoihin.

Mikäli kohteen huoltoväli oli lyhyempi kuin kalibrointiväli, tarkastettiin jokaisen huollon yhteydessä aina sondin kunto ja puhtaus. Kalibrointivälit määritettiin kunkin kohteen mukaisesti ja käytettävien resurssien pohjalta. Kalibrointia suositellaan tehtäväksi laboratorio–olosuhteissa.

Kalibroinnin tarkoituksena on saavuttaa riittävä mittaustarkkuus ja varmistaa laadukkaan datan saaminen. Sillä asetetaan eri mitta-antureille niille tarkoitetut mittaustasot lähelle mitattavan veden laadun arvioitua tasoa, jotta mittaamisesta saatava tulos on mahdollisimman kuvaava. Kalibrointi tulee tehdä säännöllisin väliajoin. Mittaustuloksiin vaikuttaa mitta-antureiden kunto ja niiden huolto. Kalibrointien ja huoltojen tiheys määritetään kunkin kohteen mukaisesti. Moniparametrisondin kalibroinnit tehtiin aina valmistajan (YSI Incorporated 2010) antamien suositusten mukaisesti.

Ennen YSI moniparametrisondin kalibrointia, tulee lämpötila-anturin tarkkuus tarkastaa jäljitettävällä lämpömittarilla tai jollakin muulla luotettavalla lämpötilan viitearvolla. Lämpötilan kompensatiota käytetään jokaisessa sondin mittaamassa arvossa, ja koska se vaikuttaa kaikkien sondin antureiden toimintaan, tulee lämpötila-anturin kunto ottaa erityisesti huomioon. Tämän vuoksi anturin kunto on tarkastettava jokaisen kalibroinnin yhteydessä

YSI moniparametrisondin kalibrointiin käytettiin laitevalmistajan suositusten mukaisia kalibrointiliuoksia ja se tehtiin laitevalmistajan ohjeiden mukaisesti. Laitevalmistajan standardiliuoksia käytettiin pH:n, sähkönjohtavuuden ja sameuden kalibrointiin.

Sähkönjohtavuus kalibroitiin yhden pisteen menetelmällä. Kalibrointiin käytettiin 1,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liuosta. Happamuus kalibroitiin kolmipisteisellä menetelmällä pH-liuoksilla 4, 7 ja 10. Kolmipistemenetelmän käyttöä suositellaan, kun kohteen happamuutta ei tiedetä. (YSI Incorporated 2010, 2)

Hapen kalibrointiin on käytetty kahta eri menetelmää. Krapuojalla sondit kalibroitiin laitevalmistajan suojakupissa jonka happipitoisuus oli 100 %. Menetelmä muutettiin kalibrointiin 100 % kyllästeiseen veteen kauden 2010 mittauksien muihin kohteisiin. Tätä menetelmää käytettiin Nautelan sondien happiantureiden kalibroinnissa.

Sameus kalibroitiin kahden pisteen menetelmällä. Nollasameuteen käytettiin akkuvettä. Akkuveden lisäksi käytettiin standardiliuosta. Nautelan kalibrointeihin on käytetty pelkästään 126 NTU-liuosta, mutta Laukanlahden tapauksessa standardiliuos muuttui mittausjakson alussa käytetystä 123 NTU-liuoksesta elokuussa 2009 126 NTU-liuokseksi. Vaihto johtui standardien muutoksesta.

2.1.2 S::can Nitro::lyser

S::can Nitro::lyser (kuva 2) on akkukäyttöinen mittalaite. Sillä mitataan kahta parametria, sameutta ja nitraattia. Laite toimii spektrometrisesti. Nitraattitypen mittausalue on 0,3-70 mg/l, ja sameuden 5-1400 FTU. Nitraattitypen mittausalue on käytettävissä kokonaan kirkkaassa vedessä, ja sen mittaustarkkuus ja mittausalue riippuvat sameudesta. 250 FTU sameudessa pystytään vielä mittaamaan 5 mg/l nitraattityypipitoisuutta. Laite ei pysty mittaamaan nitraattia erittäin sameista vesistä. (Luode Consulting, 2011.) Laite kalibroidaan paikallisiin olosuhteisiin vesinäytteillä. S::canin optisen mittausikkunan puhdistusjärjestelmä toimii paineilmalla. Maahantuojan (Luode Consulting) suositama huoltoväli on 1 kk.



Kuva 2. Scan Nitro::lyser.

Laite toimii sisäisellä dataloggerilla. Se ohjaa laitteen mittausta ja paineilmapuhdistusta. Data voidaan ladata manuaalisesti maastossa, jolloin akun jännite sekä pullopaine ovat valvottavissa ainoastaan paikan päällä. Laite voidaan myös asentaa lähetysyksikköön. Lähetysyksikön sisältävä laitteistokokoonpano lähettää mitatut tulokset sekä akun varaus- ja paineilmatilanteen vastaanottavalle palvelimelle haluttuina aikoina.

S::can tulee asentaa veteen horisontaalisesti niin, ettei mittausikkunaan synny tukoksia esimerkiksi roskaantumisen seurauksena. Kuvassa 2 näkyvän mittaushahlon tulee olla pystysuorassa kohti pintaa, jotta puhdistukseen käytettävästä paineilmastasta ei jää ilmakuplia mittausikkunoiden eteen. Mittalaitetta ei myöskään saa asentaa liian matalaan veteen, sillä paineilma saattaa tällaisissa tapauksissa pöllyttää pohjasedimenttiä, ja aiheuttaa virhelähteen tuloksiin. S::can asennetaan mittausjalustaan, jossa se pysyy

paikoillaan sopivassa syvyydessä, eikä se pääse liikkumaan virran mukana. (S::can Messtechnik 2007.)

Laite tulee puhdistaa automaattisen paineilmapuhdistuksen lisäksi jokaisella huoltokäynnillä manuaalisesti. Sen mittaukset on tehty kvartsi- ja safiirilasista, jotka eivät siedä puhdistusta kovilla materiaaleilla. Puhdistukseen suositellaan käytettäväksi pehmeää, sopivalla puhdistusaineella kostutettua materiaalia tai laitevalmistajan puhdistusharjaa.

Laitteen virransyöttö toteutettiin akuilla. Akut sijoitettiin kaappiin paineilmapullon kanssa (kuva 3).



Kuva 3. S::canin virtalähde sekä paineilmapullo maastossa. Kuvan laitteisto on manuaalisesti ladattava ja paikan päällä valvottava.

2.2 Pinnankorkeus ja virtaama

Jotta saadaan selville kunkin vesistön kuormitus, on ensin selvitettävä siinä kulkevan veden määrä. Veden määrä selvitetään esimerkiksi siivikkotyyppisellä virtausmittarilla tehtyjen virtausmittausten ja jatkuvatoimisen pinnankorkeusdatan perusteella muodostetun purkautumiskäyrän avulla. Vesistössä kulkevaa veden määrää ei saada selville pelkkien vesinäytteiden avulla. Korhosen mukaan ”virtaama määritellään tietyn uomapoikkileikkauksen kautta virtaussuuntaan aikayksikössä kulkeutuvaksi vesimääräksi (m^3/s). Luonnonuomissa tehtävissä mittauksissa määritetään uoman poikkileikkauksen pinta-ala ja poikkileikkauksen keskinopeus tekemällä mittauksia uoman eri pisteissä.” (Korhonen 2007, 11)

Virtaama tulee mitata mahdollisimman monessa eri pinnankorkeustilanteessa, jotta purkautumiskäyrästä saadaan mahdollisimman luotettava ja kuvaava. Virtaamat mitattiin aina samasta, vakioidusta kohdasta kussakin kohteessa. Tällä menetelmällä virtaamien mittaaminen kuvaa parhaiten siinä tapahtuvia vaihteluita.

2.2.1 Pinnankorkeusasema

Pinnankorkeusasemaan kuuluu pinnankorkeutta mittaava Keller-paineanturi, manuaalisesti luettava pinnankorkeusasteikko ja GSM2-lähetysyksikkö. Paineanturi (kuva 4) mittaa pinnankorkeutta puolen tunnin välein. Tiheä mittausintervalli luo edellytykset nopeidenkin muutosten havaitsemiseen. Data voidaan ladata manuaalisesti, tai halutulta palvelimelta, mikäli paineanturiin on liitetty lähetysyksikkö.



Kuva 4. Keller DCX-22VG pinnankorkeusanturi.

2.2.2 Virtaamamittaukset

Virtaamamittauksiin käytettiin doppler-ilmiöön perustuvaa siivikkotyyppistä SonTekin valmistamaa FlowTracker-laitetta (kuva 5). Se soveltuu monenlaisten virtaamien mittaamiseen 0-5 metrin syvyyksiin ja mittaa virtauksia 0,001-5m/s välillä. Laite sopii hyvin myös mataliin vesiin joissa on pieni virtaama. Laite tekee mittauksesta valmiin sähköisen mittauspöytäkirjan, jossa on vesistön virtaama m³/s-muodossa. (GWM-Engineering Oy.)



Kuva 5. Flowtracker virtausmittari.

Virtausmittausten ja pinnankorkeustietojen perusteella muodostettiin mittauskohdekohtainen purkautumiskäyrä. Purkautumiskäyrällä tarkoitetaan yksiselitteistä yhteyttä vedenpinnankorkeuden ja virtaaman välillä. Purkautumiskäyrän avulla saadaan lasketuksi virtaama, jolla tarkoitetaan vesimäärää joka tietyssä ajassa kulkee uoman poikkileikkauksen läpi. (Aalto yliopisto, Vesitalouden verkkokirja.)

2.3 Näytteenotto

Kaikista kohteista otettiin vesinäytteitä. Vesinäytteet pyrittiin ottamaan erilaisissa vedenlaadullisissa ja virtaamatilanteissa. Ne otettiin aina samasta kohdasta. Näytteenotto pyrittiin ajoittamaan niin, että se olisi samanaikainen jatkuvatoimisten mittausten kanssa.

Näytteenotoissa hyödynnettiin tarpeen vaatiessa myös erillistä pitkävartista näytteenotinta. Tällaisia tilanteita olivat muun muassa kova virtaama tai etäinen näytteenottokohta.

2.4 Ohjelmat

Työssä on hyödynnetty Microsoft Office Excel-ohjelmaa aineiston käsittelyssä. Sen lisäksi kohdekartan ja valuma-alueiden käsittelyssä on käytetty MapInfo Professional 9.5 -ohjelmistoa, jonka toimittaa *Pitney Bowes MapInfo Limited*. ”Aineistojen kopiointi ilman Maanmittauslaitoksen lupaa on kielletty.” Tässä työssä oleviin kartta-aineistoihin on käyttöoikeuslupanumero MML/OPP/VASU/134/08.

2.5 Kohteet

Hyvä kohde kuvaa valuma-alueen vettä hyvin. Se luo toimivat edellytykset kulloisenkin tutkimusongelman selvittämiseen. Mittauspisteet tulee pystyä sijoittamaan kohteisiin niin, että edellytykset niiden toimivuudelle ovat olemassa.

Mittauspisteen valintaan vaikuttaa käytettävä laitteisto, projektin vaatimukset mittauksille, sekä kyseisen kohteen ominaispiirteet. Mittauspiste valitaan niin, että siinä on mahdollisimman vähän. Ne tulee huoltovälejä määriteltäessä.

Myös tekniset vaatimukset tulee huomioida mittauspistettä valittaessa. Laitteistojen virtalähteen ja lähetysyksiköiden suojana toimiva kaappi tulee

sijoittaa niin, että se on helppo huoltaa ja sen sisällä sijaitseva lähetysyksikkö toimii. Kaappi ei saa jäädä veden alle. Mittalaitteet tulee sijoittaa vesistöön niin, että ne mittaavat mahdollisimman kuvaavasti vettä ilman häiriötekijöitä.

Tutkimuskohteet valittiin opinnäytetyön aineistoksi samankaltaisten tarkoituseriensä vuoksi ja niiden kartta nähdään kuvassa 6.



Kuva 6. Kohteet kartalla. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.

2.5.1 Krapuoja

Laukanlahti on rehevä merenlahti Perniössä, ja kuuluu Kiskonjoen Natura 2000–alueeseen. Laukanlahteen laskevaa Krapuojaa on kunnostettu, siihen on tehty pohjapatoketju, laskeutusaltaita sekä kosteikko tulvaniittyineen (kuva 5). Nykyisellään tulvaniitty ei toimi suunnitellulla tavalla, sillä purkautumiskohtaan suunniteltu pohjapato joka mahdollistaisi veden nousun tulvaniitylle, ei toteutunut maanomistajan vaatimusten vuoksi.

Kohde valittiin, koska sekä paikallisella suojeluyhdistyksellä, että kohteen maanomistajalla oli halu ja toive parantaa Laukanlahden veden tilaa. Kohteesta oli tehty kartoitus ja raportti (Härjämäki, Hagelberg 2007). Kohde toteutui kartoituksen pohjalta ja WWF:n kosteikkoprojektin toimesta. Rahoituksesta vastasi Varsinais-Suomen Ely-keskus.



Kuva 7. Krapuojan kosteikko. Oikealla suunniteltu tulvaniitty.

Veden laadun mittauksiin valikoitui Krapuoja ja sen alajuoksulla sijaitseva kosteikko niissä tehtyjen kunnostusten vuoksi. Krapuoja saa alkunsa Makarlanjärvestä ja on pituudeltaan vajaat 5 kilometriä. Krapuojan valuma-alue (kuva 8) on suuruudeltaan noin 1922 hehtaaria josta peltoa on vajaa puolet.



Kuva 8. Krapuolan valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.

Mittaukset toteutettiin 9.12.2008 – 31.5.2010. Mittaukset kestivät yhteensä 539 vuorokautta.

Mittauspisteet valittiin niin, että ne kuvaavat mahdollisimman hyvin kosteikkoon tulevaa vettä ja sieltä lähtevää vettä. Tuleva mittauspiste (kuva 9) sijoitettiin pohjapadon kohdalle 300 metriä kosteikosta ylävirtaan, sellaiseen kohtaan, jossa merenpinnan korkeusvaihteluiden vaikutukset eivät näy ja virtaaman mittaaminen on mahdollista. Molempiin mittauspisteisiin asennettiin YSI moniparametrisondi ja S::can Nitro::lyser. Tulevaan mittauspisteeseen (kuva 9) asennettiin lisäksi pinnankorkeusasema. Mittauspisteille valittiin niille sopivat paikat, joissa riittää vettä vuoden kuivimpinakin aikoina.

Lähtevä mittauspiste (kuva 10) sijoitettiin kosteikon purkautumiskohtaan, joka sijaitsi kapeimmassa kohdassa uomaa ja oli ainoa mahdollinen huoltamisen kannalta. Muualla kosteikossa veden syvyys olisi ollut laitteiden huoltamisen kannalta liian suuri, ja tarkoituksena oli mitata kosteikosta poistuvan veden laatua. Tähän pisteeseen oli myös suunniteltu kosteikon veden korkeutta säätelevä pohjapato, joka ei maanomistajan asettamien vaatimusten takia

kuitenkaan toteutunut. Mittauspisteessä mitattiin myös sähkönjohtavuutta, jotta pystyttiin todentamaan ajanjaksot, jolloin merivesi oli kosteikossa.



Kuva 9. Krapuojan tuleva mittauspiste.



Kuva 10. Krapuojan lähtevä mittauspiste.

Mittaukset aloitettiin 6000–sarjan YSI moniparametrisondeilla, joista data ladattiin manuaalisesti. Keväällä 2009 käyttöön saatiin GSM–dataloggerit. Nämä lähettivät moniparametrisondin mitaamat tulokset langattomana Turun ammattikorkeakoulun palvelimelle, josta se päivittyi kaksi kertaa vuorokaudessa salasanalla suojatuille nettisivuille. Myös pinnankorkeusasemaan liitettiin lähetyksikkö. Scan Nitro-lysureiden mittausjakso oli lyhyempi, 8.4.2009 – 31.5.2010 ja data ladattiin koko mittausjakson ajan manuaalisesti.

Virtaama mitattiin kohteessa yhteensä 7 kertaa erilaisissa virtausolosuhteissa, ja siihen käytettiin FlowTracker virtaaman mittauslaitetta.

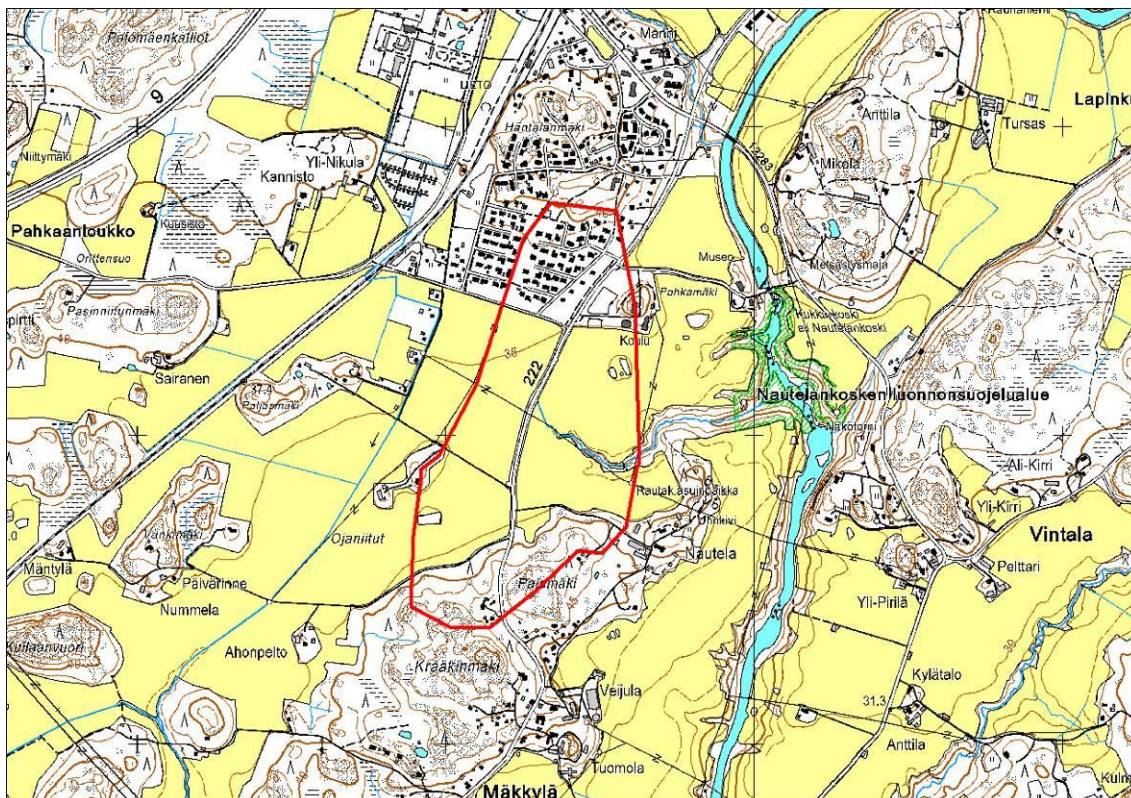
Kohteelle määritettiin huoltoväliksi maksimissaan neljä viikkoa, johon vaikutti muun muassa kohteen kaukainen sijainti sekä käytettävissä olevat resurssit. Toteutuneita huoltokäyntejä tuli yhteensä 38 kappaletta, kesällä voimakkaamman perustuotannon ja likaantumisen takia huoltoväli lyhennettiin kahteen viikkoon.

Huoltojen yhteydessä kohteesta otettiin vesinäytteet. Vesinäytteet otettiin mittausjaksolla yhteensä 42 näytettä 19 näytteenottokertana ja ne otettiin aina molemmista mittauspisteistä. Näytteet analysoitiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:n toimesta Turussa. Analysoidut parametrit olivat sameus, kiintoaine, kokonaisfosfori, fosfaattifosfori, kokonaistyyppi, nitraattityppi ja nitriittityppi.

2.5.2 Nautela

Active Wetlands on EU:n Interreg-rahoitteinen hanke, jonka tarkoituksena on testata ja kehittää uusia menetelmiä pienten kosteikoiden ravinteiden pidätyskyvyn parantamiseksi. Projektissa käytetään niin sanottuja aktiivisia menetelmiä ravinteiden poistoon maatalouden valumavesistä, joita ovat esimerkiksi Nautelassa fosforin kemiallinen saostaminen. Tämän vuoksi ammattikorkeakoulun projektiin valittiin kohde, jossa oli tarpeeksi korkea liukoisen fosforin pitoisuus. Kohteessa toteutetaan liukoisen fosforin saostus Ferix-3 rautasulfaatti-kemikaalilla. Tässä työssä kemikaalia ja sen vaikutuksia ei käsitellä.

Nautelan oja on pituudeltaan vajaan kilometrin. Nautelassa sijaitsevan laskeutusallas- ja pohjapatoketjun valuma-alueen (kuva 11) koko on 73,04 hehtaaria, josta peltoja on 40,33 ha. Sen peltoprosentti on 55 %. Tässä työssä käsiteltävä aineisto on kerätty syksyn 2010 mittausjakson aikana 3.8. – 24.11.2010. Mittausjakso kesti 114 vuorokautta.



Kuva 11. Nautelan kohteen valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.

Nautelan kohteessa tehtiin maastokartoitus valuma-alueesta, laskettiin sen pinta-ala ja arvioitiin maksimivirtaama kahdenkymmenen vuoden tulvahuipun mukaan. Mittapato mitoitettiin sen mukaan. Kohteen salaojaputkien sijainnit selvitettiin salaojakartan avulla, jonka perusteella valittiin mittauspisteet mittalaitteille.

Nautelan kohteessa on kaksi laskeutusallasta, joista alempi sijaitsi mittauspisteiden välissä. Tulevan mittauspisteen yhteyteen rakennettiin mittapato sekä kemikaaliannostelija (kuva 12). Mittapadon yhteyteen asennettiin pinnankorkeusasteikko sekä pinnankorkeutta mittaava paineanturi.



Kuva 12. Nautelan mittapato ja kemikaaliannostelija.

Kemikaalisäiliönä toimi 350 l vetoinen astia, jonka pohjaan kiinnitettiin kemikaalin annostelupää (kuva 13). Annostelijaan rakennettiin järjestelmä kemikaalin sekoittamiseksi, sillä kosteissa olosuhteissa kemikaali voi paakkuuntua. Annostelija toimii sillä periaatteella, että mitä enemmän vettä kulkee, sitä enemmän kemikaalia vapautuu veteen. Sen tarkoitus on saostaa liukoista fosforia.



Kuva 13. Nautelan kemikaaliannostelija.

Tulevaan mittauspisteeseen (kuva 14) asennettiin YSI moniparametrisondi ja S::can Nitro::lyser. Mittalaitteet asennettiin mittapadon ja kemikaaliannostelijan yläpuolelle sellaiseen kohtaan, jossa mittapadon patoava vaikutus näkyi. Tämä mahdollisti sen, ettei mittalaitteille tarvinnut erikseen kaivaa syvää pistettä jotta mittalaitteet säilyivät vedenpinnan alapuolella vähäisimmänkin veden aikana. Molemmat laitteet kytkettiin GSM-dataloggereihin, joiden lähetysyksiköt lähettivät datan valvomoon kahdesti vuorokaudessa. Valvomon palvelimelta data latautui automaattisesti salasanaa suojatuille nettisivuille.



Kuva 14. Nautelan tuleva mittauspiste.

Lähtevä mittauspiste (kuva 15) asennettiin heti laskeutusaltaan jälkeen kohtaan, jossa on pudotuskorkeutta sen verran, että vesi virtaa myös vähäisen veden aikaan. Mittauspisteen valintaan vaikutti myös pellolta tuleva pintavaluntaoja, joka laski suoraan mittauspisteeseen, mutta se ohjattiin purkautumaan mittauspisteen alapuolelle eikä näin ollen aiheuta virhelähdettä tuloksiin. Mittauspisteeseen asennettiin sama laitteistokokoonpano lähetysyksiköineen kuin tulevaan mittauspisteeseen.



Kuva 15. Nautelan lähtevä mittauspiste.

Kohteen huoltoväli oli 1,5 ja kalibrointiväli 3 viikkoa. Kalibrointisykli onnistui suunnitelmien mukaisesti. Huoltoväli sen sijaan eli tilanteiden mukaan, vaihdellen kolmen viikon kalibrointisyklistä muutamaan päivään. Toteutuneita huoltokäyntejä oli Nautelan kohteessa 19, joista viisi oli kalibrointikäyntejä joiden yhteydessä suoritettiin myös huoltotoimenpiteitä.

Kohteesta otettiin vesinäytteet yhteensä 4 kertaa, ja ne analysoitiin Lounais-Suomen vesi- ja ympäristötutkimus Oy:ssä. Tutkitut parametrit olivat pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, kokonaisfosfori, liukoinen fosfori, kokonaistyppe, nitraattityppi, nitriittityppi ja ammoniumtyppe.

Nautelan kohteeseen valittiin vakioidut valokuvauspisteet, joista pyrittiin ottamaan valokuvat jokaisella huoltokäynnillä.

2.5.3 Jokioja

Toimeksianto Jokiojan kohteelle tuli Naantalin kaupungin ympäristötoimelta, jolla oli halu saada tietoa pienten virtaavien vesien kuormituksista. Kohteen mittaukset suunniteltiin ja toteutettiin syksyllä 2010. Kohde oli yksi Naantalin kaupungin ympäristöviraston ehdotuksista. Ehdotusten perusteella tehtiin maastokartoitukset ja valittiin mittauksiin soveltuva esimerkkikohde, jossa seuranta on teknisesti mahdollista.

Jokioja on noin 2 kilometriä pitkä, reheväkasvustoinen oja. Se laskee Leikkistenjärvestä Nuikonlahteen, joka on matala ruovikkoinen lahti. Jokiojan valuma-alueen (kuva 16) pinta-ala on noin 700 hehtaaria, ja siitä vajaa puolet on peltoja. Valuma-alueella on myös kaksi järveä, Leikkistenjärvi ja Leiklahdenjärvi.

Mittaukset toteutettiin 7.10. – 20.12.2010 välisenä aikana. Mittaukset kestivät yhteensä 75 vuorokautta.



Kuva 16. Jokiojan kohteen valuma-alue. Copyright Maanmittauslaitos 2011, käyttöoikeuslupa nro MML/OPP/VASU/134/08.

Kohteessa haluttiin selvittää kyseisen vesistön veden laatua ja sen kuormitusta. Jokiojaan asennettiin yksi mittauspiste (kuva 17). Virtalähdettä ja lähetysyksikköä suojaava kaappi määritteli mittauspisteen sijainnin sellaiseen kohtaan, jossa vesi virtaa riittävästi läpi vuoden ankaraa talvea lukuun ottamatta. Mittauspisteessä valittiin kullekin laitteelle sopiva paikka johon ne saatiin helposti asennettua, ja jossa ne olivat helposti huollettavissa.

Mittauskohteeseen asennettavaksi laitteistoksi valittiin pinnankorkeusanturi ja S::can Nitro::lyser. Merenpinnan ollessa korkealla, nousee merivesi mittauspisteeseen. Tämän vuoksi mittauspisteeseen päätettiin asentaa suppea moniparametrisondi sähköjohtavuutta mittaamaan. Tällöin pystytään todentamaan milloin merivesi on noussut jokeen.



Kuva 17. Jokiojan mittauspiste.

Kaikkien mittalaitteiden data ladattiin manuaalisesti. Huoltoväliksi määritettiin enimmillään kolme viikkoa mittauksen ajoituessa kylmien säiden aikaan, jolloin virran kulutus on suurempaa ja akkujen vaihtotarve lisääntyy. Toteutuneita huoltokäyntejä kohteessa oli yhteensä 7.

Kohteesta otettiin myös vesinäytteet aineiston kalibroimiseksi, sekä virtausmittaukset purkautumiskäyrän laadintaa varten. Vesinäytteet otettiin kohteesta viidesti, ja ne analysoitiin Ramboll Analyticsin toimesta. Analysoidut parametrit olivat sameus, pH, sähkönjohtavuus, kiintoaine, kokonaistyyppi, nitraattityppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori ja liukoinen fosfori. Virtausmittaus tehtiin syksyn mittausjakson aikana kolmesti, kunnes jäätilanne esti niiden jatkamisen.

3 TULOKSET

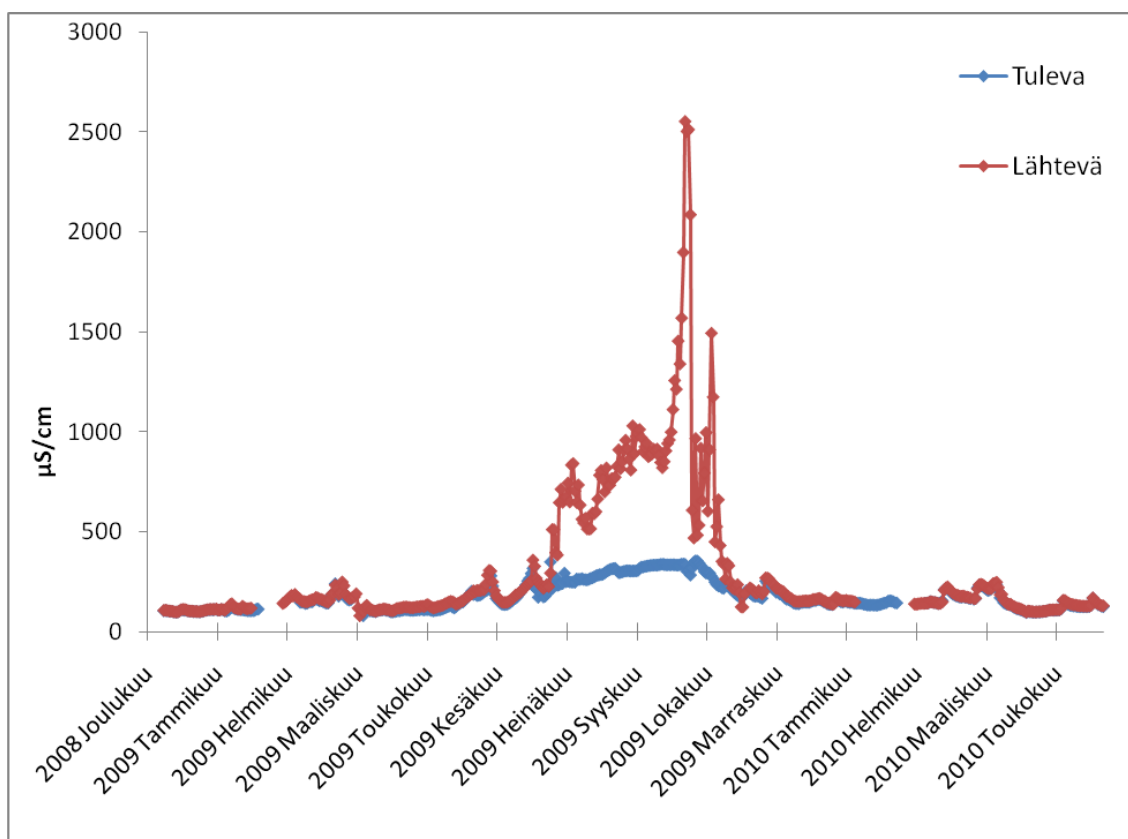
3.1 Krapuoja

Laukanlahteen laskevan Krapuojan vedenlaatua mitattiin puolentoista vuoden ajan 9.12.2008 – 31.5.2010. Mittausjakson aikana oli kaksi pidempää datakatkoa, helmikuussa 2009 ja 2010. Vedenlaatua mitattiin puolen tunnin välein. Kaikki kuvaajat esitetään vuorokausikeskiarvoina luottavuuden helpottamiseksi.

Veden lämpötila, sähkönjohtavuus, pH ja happipitoisuus

Krapuojan veden lämpötila vaihteli nollan tuntumasta yli 20 asteeseen. Lämpötila on pysynyt molempina mitattuina talvina jäätymisen jälkeen nollan tietämillä. Se on lähtenyt nopeaan nousuun jääkannen sulettua, ja pysynyt sen jälkeen vähintään kymmenessä asteessa syyskuun loppupuolelle saakka. Tulokset on esitetty kuviossa 1 vuorokausikeskiarvoina.

Sähkönjohtavuus pysyi samalla tasolla lähes koko mittausjakson ajan. Tulokset ovat yhteneväisiä molemmissa mittauspisteissä yhtä ajanjaksoa lukuun ottamatta. Sähkönjohtavuus mittaa suolojen määrää. Kun kosteikkoon nousee merivettä, nousevat sähkönjohtavuustulokset. Heinä-lokakuussa 2009 vähäinen virtaama ja eteläiset tuulet nostivat meriveden kosteikkoon, ja se näkyy tuloksissa huomattavasti korkeampina lukemina. Tämän ajanjakson kuormitustuloksia ei täten voida pitää luotettavina. Tulokset on esitetty kuviossa 2 vuorokausikeskiarvoina.



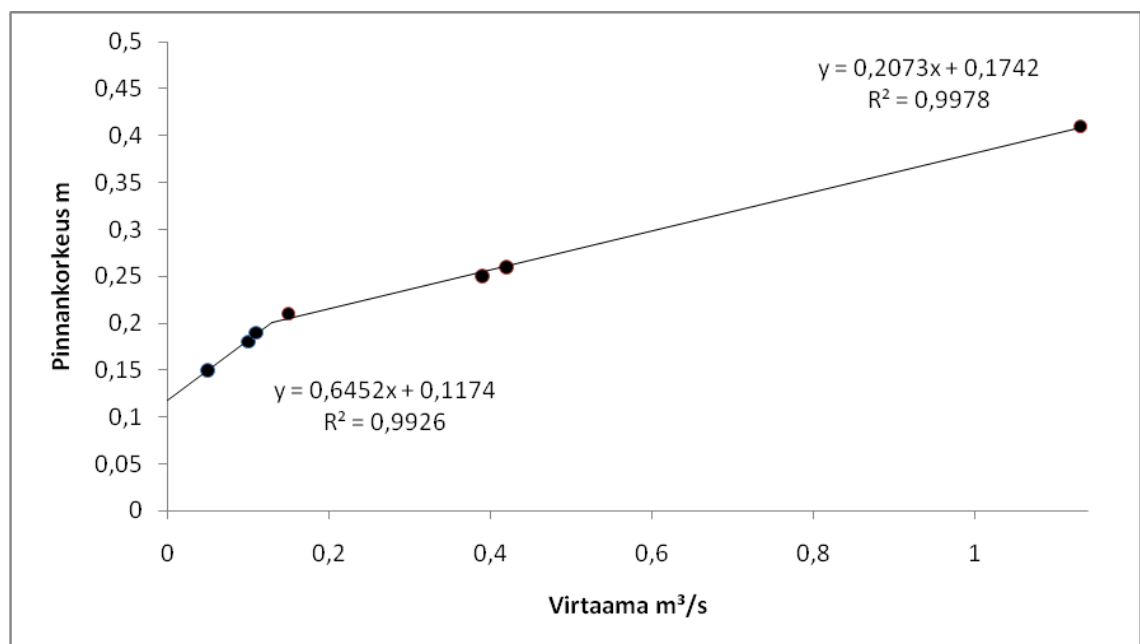
Kuvio 2. Krapuon tulevan (N=23049) ja lähtevän (N=22925) veden sähkönjohtavuuden vuorokausikeskiarvot.

Krapuojan happipitoisuus vaihteli lähes nollasta 13 milligrammaan litrassa. Korkeimmillaan se oli kylmän veden aikaan, jolloin se vaihteli noin 10 ja 13 mg/l:n välillä. Pääsääntöisesti tulokset ovat yhteneväisiä kummassakin mittauspisteessä, lukuun ottamatta lämpimän veden aikaa kesäkuun ja lokakuun lopun välillä. Tällöin happipitoisuus oli tulevassa mittauspisteessä lähtevää matalampi, ja laski matalimmillaan syyskuun lähes nollaan mg/l:n jolloin virtaamakin oli olematonta. Happipitoisuuden vuorokausikeskiarvot esitetään Liite 1:n kuvio 1:ssä.

Krapuojan pH vaihteli reilusta pH 6:sta reiluun pH 7:n. Perustuotannon vaikutus kesäaikaan näkyy lähtevässä mittauspisteessä pienenä nousuna, joka saattaa kuitenkin aiheutua meriveden noususta kosteikkoon. Koko mittausjaksolla oli muutama kalibroinnista aiheutunut tasoero, jotka pystyttiin tasokorjaamaan. Happamuuden vuorokausikeskiarvot esitetään Liite 1:n kuvio 2:ssa.

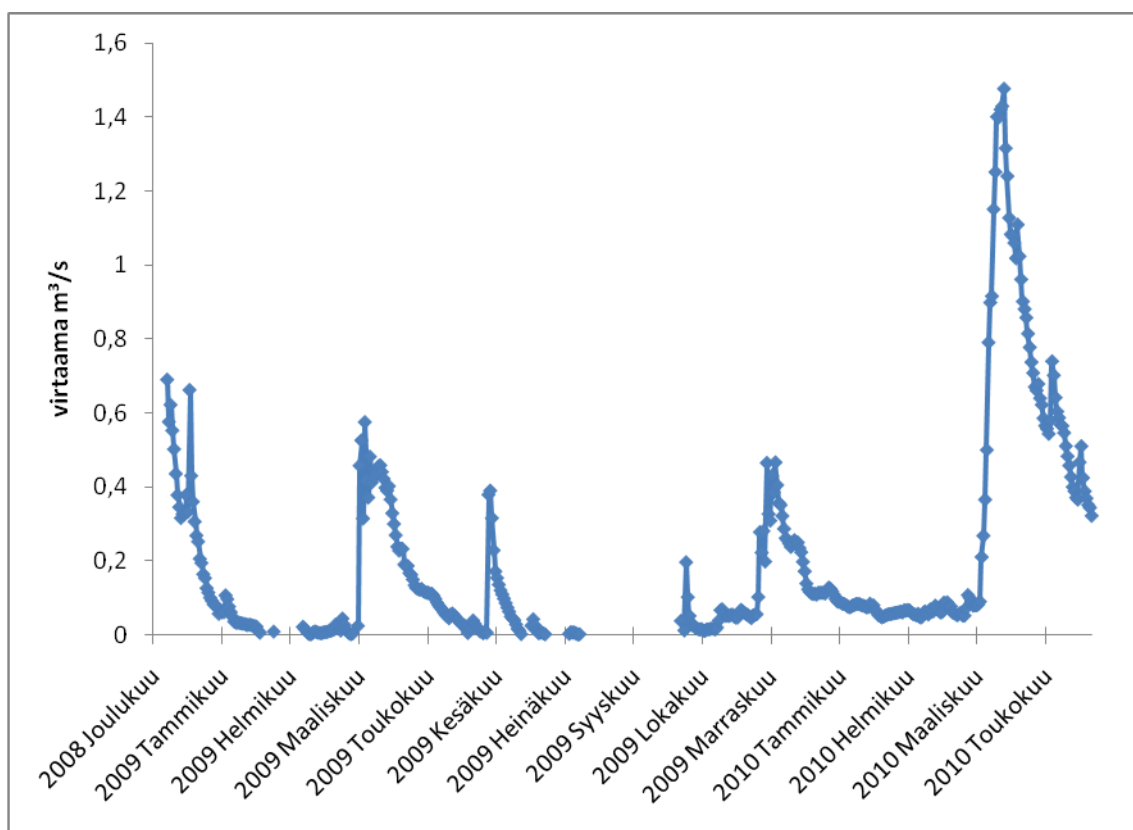
Purkautumiskäyrä ja virtaama

Krapuojan virtaaman (m^3/s) laskemiseksi muodostettiin purkautumiskäyrä (kuvio 3). Purkautumiskäyrä saatiin vertaamalla jatkuvatoimisen paineanturin tuottamaa dataa ja virtausmittauksia. Jotta saatiin mahdollisimman luotettava tieto virtaamasta, käytettiin sen laskemiseen kahta eri regressioyhtälöä. Alle 0,20 m vedenpinnan korkeuksissa käytettiin regressioyhtälöä $Q=1,538h-0,18$ ja 0,20 m ja sen ylläneissä vedenpinnan korkeuksissa puolestaan $Q=4,813h-0,837$. Kaavoissa Q =virtaama (m^3/s) ja h =pinnankorkeus. Korkein pinnankorkeus jonka aikana virtaamamittaus tehtiin, oli 0,41 m, jolloin virtaama oli $1,13 \text{ m}^3/\text{s}$. Tätä suurempien virtaamien luotettavuudesta ei purkautumiskäyrässä ole täyttä varmuutta. Näitä tilanteita ei mittausjakson aikana kuitenkaan montaa ollut.



Kuvio 3. Krapuojan purkautumiskäyrä.

Krapuojan virtaamat vaihtelivat välillä 0–1,74 m³/s, eli vaihtelu oli suurta. Pienimmät virtaamat mitattiin vuoden 2009 tammi–maaliskuussa ja heinä–lokakuussa sekä vuoden 2010 alkutalvesta tammi–maaliskuussa. Suurimmat virtaamat mitattiin kevättulvan aikaan maaliskuun lopusta toukokuun alkuun sekä vuonna 2009 että 2010. Koko mittausjakson keskivirtaama oli 0,178 m³/s. Tulokset esitetään kuviossa 4 vuorokausikeskiarvoina.



Kuvio 4. Krapuojan virtaama m³/s (N=19719).

Alla olevissa kuvissa 18-20 on nähtävissä Krapuojan erilaisia virtaamatilanteita vaihteluiden havainnollistamiseksi.



Kuva 18. Krapuojan virtaama 8.4.2009. $Q=0,43 \text{ m}^3/\text{s}$.



Kuva 19. Krapuojan virtaama 22.9.2009. $Q=0 \text{ m}^3/\text{s}$.

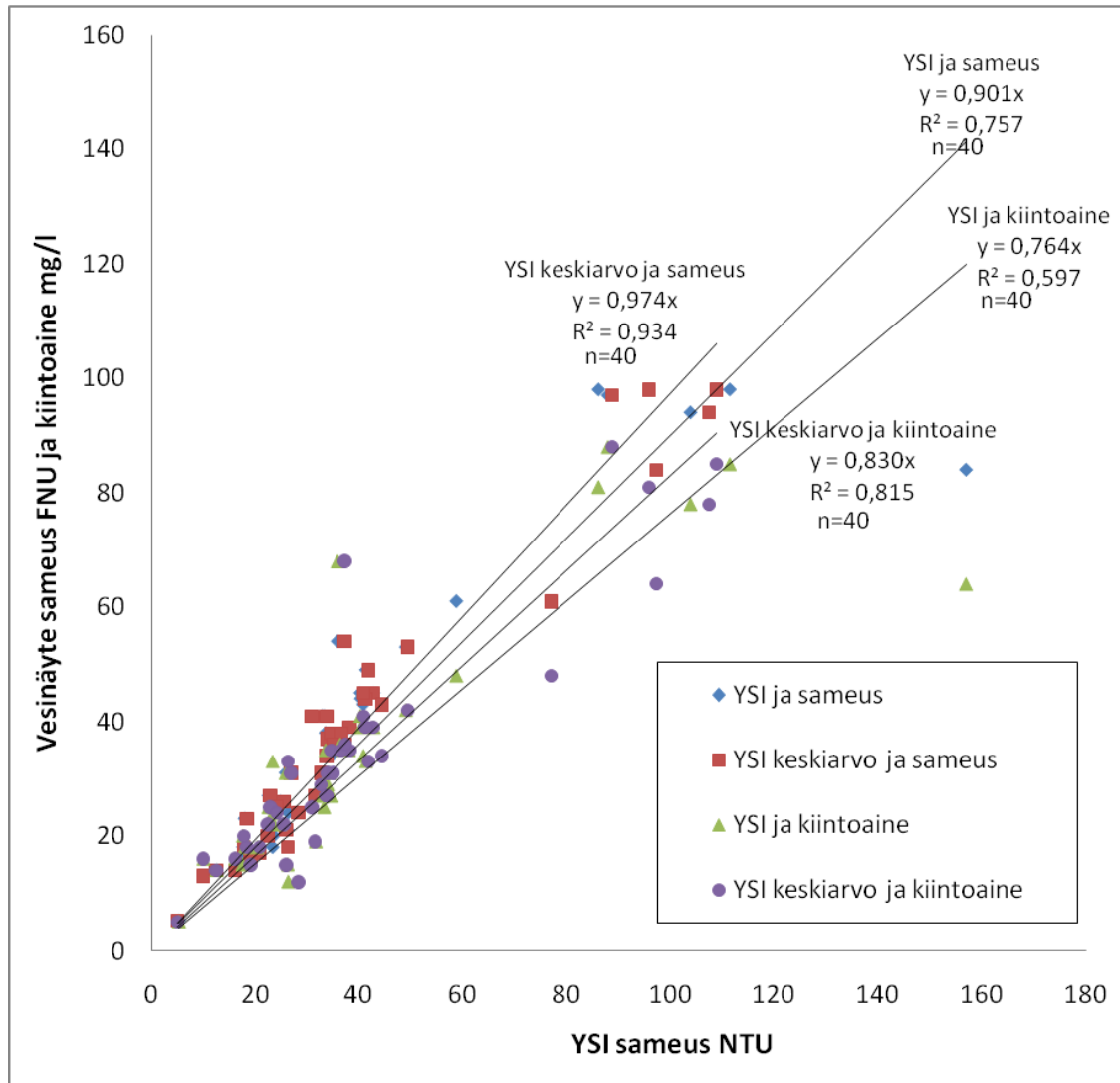


Kuva 20. Krapuojan virtaama 11.3.2010. $Q=0,07 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kiintoaine

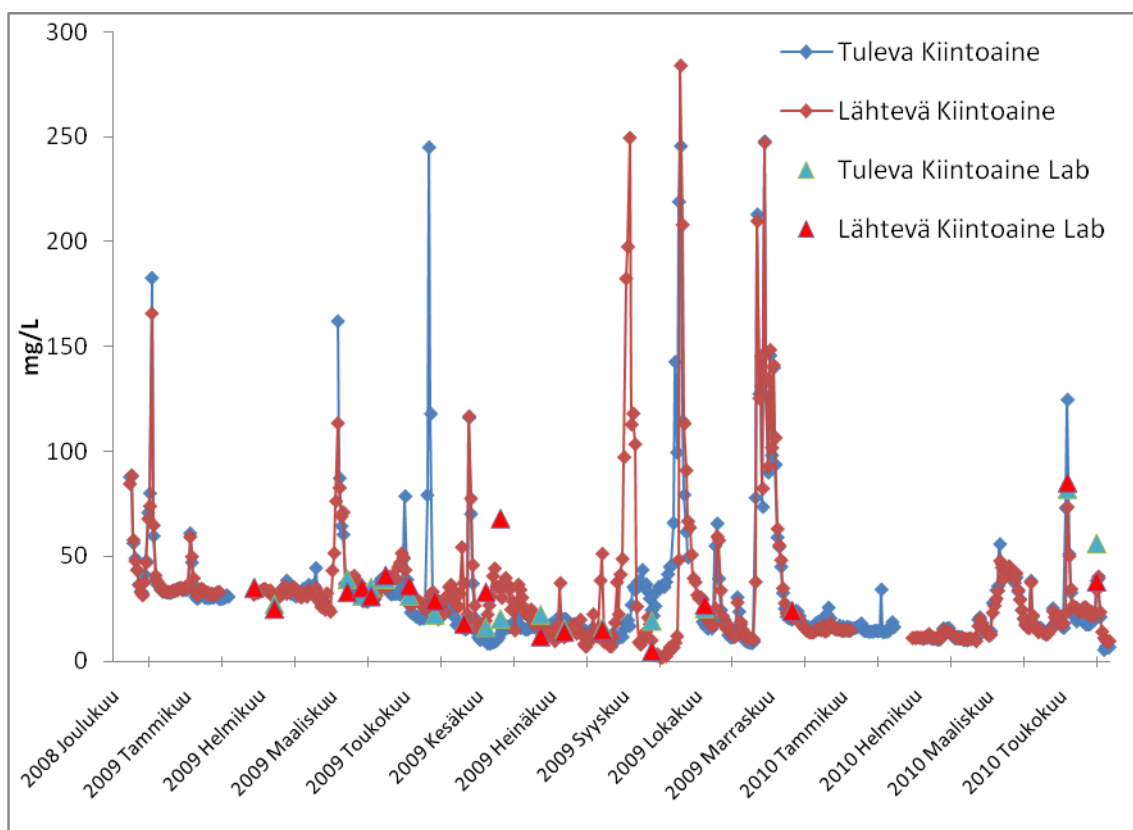
Krapuojan molempien mittauspisteiden sameutta mitattiin kahdella eri mittalaitteella. Kiintoaineen määrän laskemisessa on käytetty YSI moniparametrisondin mittaamaa sameusaineistoa. Laboratorioanalyysien ja jatkuvatoimisten mittalaitteiden tuloksia verrattiin toisiinsa lineaarisella regressiolla (kuvio 5). Vertailussa käytettiin näytteenottohetken kanssa samanaikaista yksittäistä sameusmittausta ja laboratorioanalyysin sameus- ja kiintoainemääryksiä. Tämän lisäksi vertailuun käytettiin myös viiden näytteenottohetkeä lähimmän sameusmittauksen keskiarvoa. Kuvion suorat on pakotettu origoon, sillä oletetaan, että sameuden ollessa nolla ei vedessä ole kiintoainetta. Paras selitysaste ($R^2=0,815$) oli viiden sameusmittauksen keskiarvon ja laboratoriotulosten välillä. Tämän regressiosuoran yhtälö valittiin muunnoskaavaksi. Kiintoainemuunnokseen käytetty kaava oli kiintoaine $\text{mg/l}=0,830 \cdot \text{NTU}$, jossa NTU =sameustulos. Kaavan perusteella laskettiin

kiintoainekuormitusarvio kyseiselle vesistölle koko mittausjakson ajalle. Moniparametrisondin 1 sameusyksikkö vastasi tällä laskukaavalla noin 0,83 mg/l kiintoainetta.



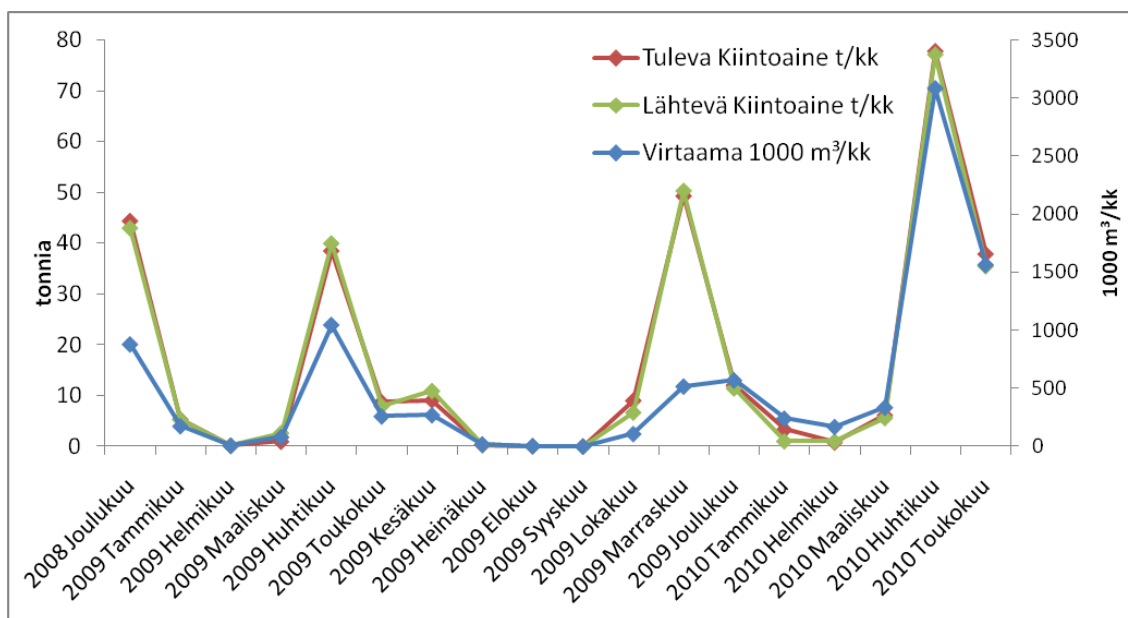
Kuvio 5. Krapuojan jatkuvatoimisten mittalaitteiden sameuksien ja laboratorionäytteiden sameus- ja kiintoainetulosten vertailu.

Kiintoainepitoisuudet pysyivät suurimman osan mittausjaksosta alle 50 mg/l tasolla. Havaittavissa on muutamia kiintoainepitoisuuspiikkejä, jolloin pitoisuus kohosi suurimmillaan vajaaseen 300 mg/l. Lähes kaikki kuormituspiikit tapahtuivat molemmissa mittauspisteissä samaan aikaan muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Kuviossa 6 esitetään kiintoainepitoisuuksien päivittäiset keskiarvotulokset. Samalle kuvaajalle sijoitettiin myös laboratorionäytteiden kiintoainetulokset. Laboratorion kiintoainetulokset ovat yhteneväisiä jatkuvatoimimisen datan kanssa.



Kuvio 6. Krapuon tulevan (N=22628) ja lähtevän (N=22680) veden vuorokausikeskiarvot kiintoaineesta (mg/l) ja laboratorioanalyysien (N=19) tulokset.

Koko mittausjakson laskennallinen kiintoainekuormitus oli tulevassa mittauspisteessä 300 tonnia ja lähtevässä 180 tonnia. Kiintoainekuormitushuiput osuivat samaan ajankohtaan virtaamahuippujen kanssa. Suurin kuukausittainen kiintoainekuormitus oli lähes 80 tonnia huhtikuussa 2010. Tällöin mitattiin myös mittausjakson suurimmat virtaamat. Pienimmillään kiintoainekuormitus oli helmikuussa sekä kesällä elo- ja syyskuussa 2009. Kiintoainekuormitus oli minimissään syyskuussa 2009, jolloin sitä ei ollut käytännössä katsoen lainkaan. Samana ajankohtana virtaamakin oli minimissään. Kiintoainekuormitus ja virtaama 1000 m³/kk esitetään kuviossa 7.

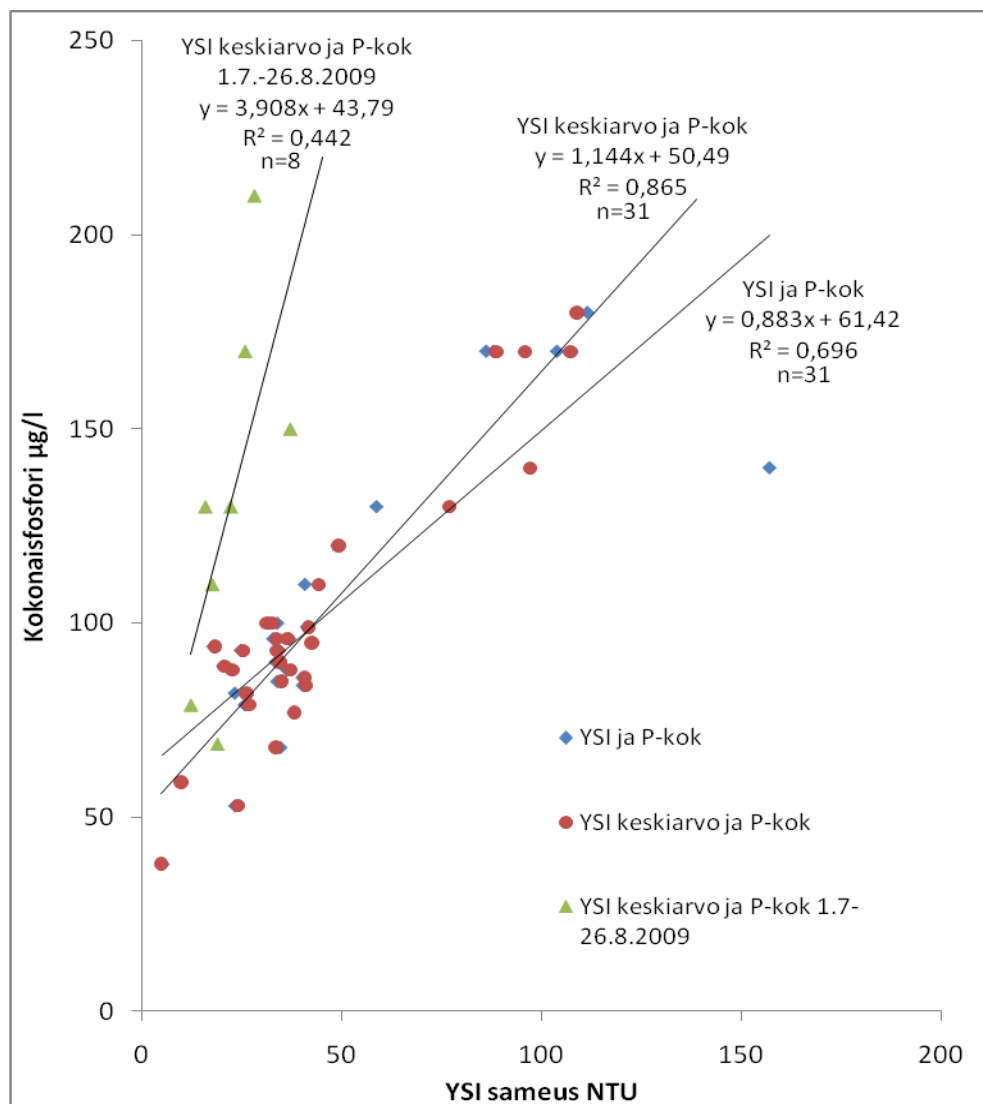


Kuvio 7. Krapuojan tulevan ja lähtevän mittauspisteen kiintoainekuormitus tonneissa sekä virtaama 1000 m³ kuukausittain.

Ravinteet

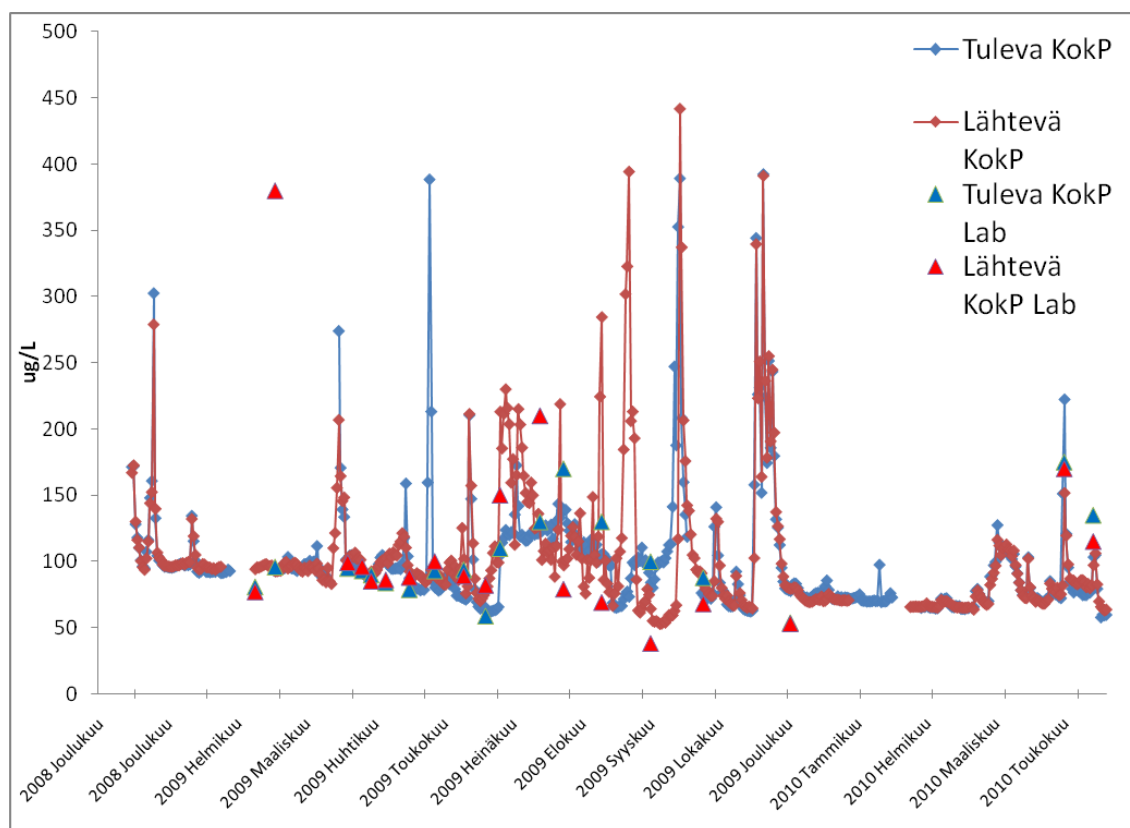
Laboratorionäytteiden fosforipitoisuuksia verrattiin YSI moniparametrisondin mittaamaan sameusdataan. Fosfori sitoutuu helposti kiintoainekseen. Tämä mahdollistaa sameusdatan käyttämisen fosforipitoisuuksien laskemisessa. Fosforipitoisuuden ja sameuden välille muodostetuista regressioyhtälöistä (kuvio 8) valittiin parhaimman selityssasteen ($R^2 = 0,865$) yhtälö, joka oli muodostettu viiden sameustuloksen keskiarvon ja laboratorion kokonaisfosforipitoisuus tuloksen välille. Kokonaisfosfori sisältää kaikki fosforin muodot. Käytetty yhtälö oli kokonaisfosfori = $1,144 \cdot \text{NTU} + 50,49$ jossa NTU = sameustulos.

Laboratorionäytteiden tulokset vaihtelivat ajallisesti. Ajanjaksolla 1.7. - 31.8.2009 käytettiin eri muunnoskaavaa, joka oli kokonaisfosfori = $3,908 \cdot \text{NTU} + 43,79$ jossa NTU = sameustulos. Tämän muunnoskaavan selityssaste oli huonompi ($R^2 = 0,442$), mutta kyseisen ajanjakson fosforipitoisuutta kuvaavampi.



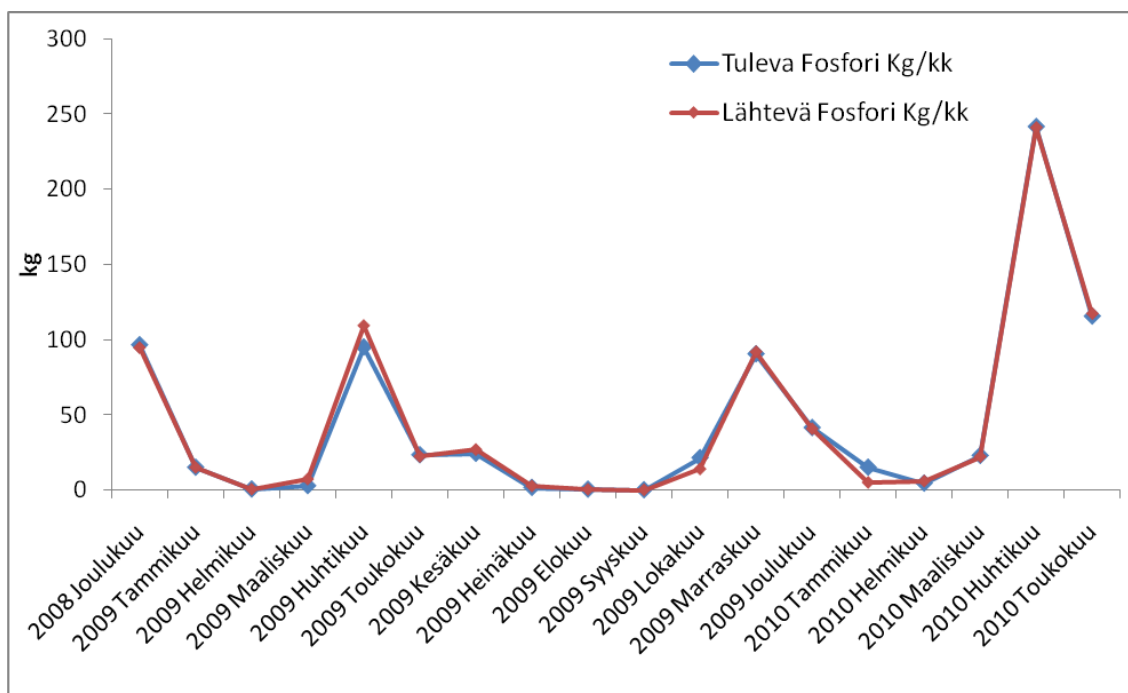
Kuvio 8. Krapuojan jatkuvatoimisten mittalaitteiden sameuksien ja laboratorionäytteiden fosforitulosten vertailu.

Laskennalliset fosforipitoisuudet vaihtelivat noin 50-450 µg/l välillä. Suurimman osan mittausjaksosta pysyivät fosforipitoisuudet vajaan 100 µg/l tuntumassa. Tästä selvästi poikkeava ajanjakso oli heinä-lokakuu 2009, jolloin fosforipitoisuus oli suurimmaksi osaksi yli 100 µg/l. Samalla ajanjaksolla lähtevän mittauspisteen fosforipitoisuuksissa oli suurempaa hajontaa kuin tulevan pitoisuuksissa. Muina aikoina lähes kaikki fosforipitoisuuden huiput olivat samanaikaisia muutamaa yksittäistä poikkeusta lukuun ottamatta. Kuviossa 9 on esitetty fosforipitoisuuksien vuorokausikeskiarvot, ja siihen sijoitettiin myös laboratorionäytteiden kokonaisfosforitulokset. Tulokset olivat suurimmaksi osaksi yhteneväisiä keskenään.



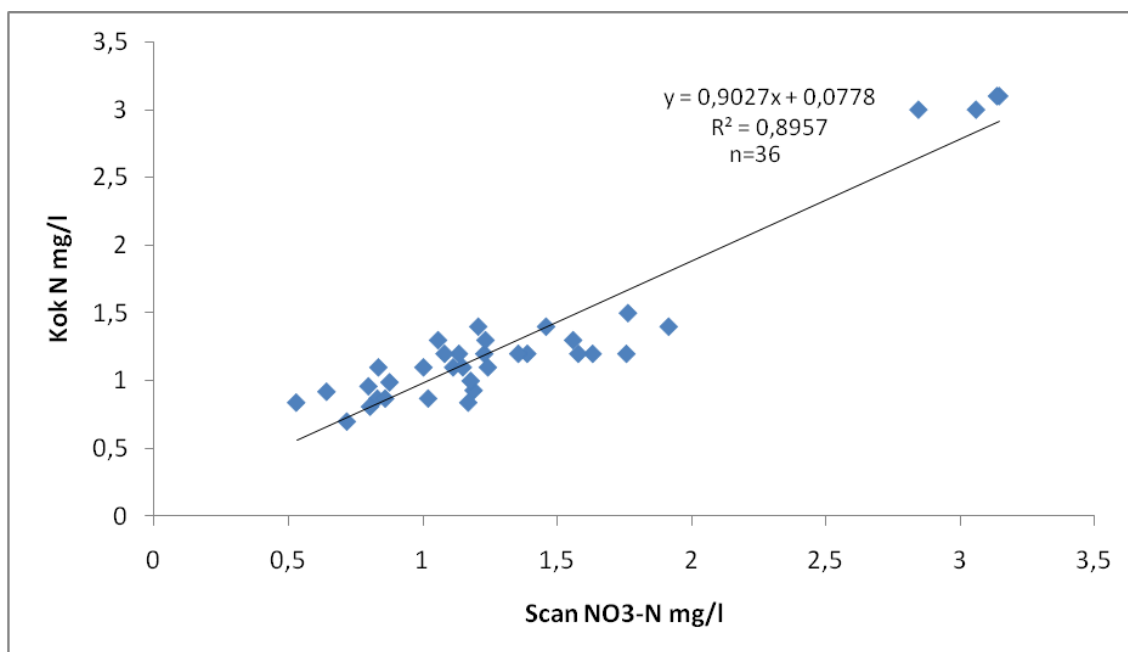
Kuvio 9. Fosforipitoisuudet (µg/l) tulevassa (N=22628) ja lähtevässä (N=22680) mittauspisteessä vuorokausikeskiarvoina. Käyrälle on sijoitettu myös laboratorionäytteiden (N=19) fosforipitoisuudet.

Kuukausittaiset fosforikuormitukset esitetään kuviossa 10. Tulokset ovat yhteneväisiä molemmissa mittauspisteissä. Fosforikuormitus vaihteli lähes nolasta vajaaseen 300 kilogrammaan kuukaudessa. Fosforikuormitushuiput osuivat kiintoainekuormitushuippujen tavoin virtaamahuippuihin. Pienimmillään fosforikuormitus oli talvikuukausina 2009 ja 2010, sekä vuoden 2009 kesällä. Koko mittausjakson fosforikuormitus oli tulevassa mittauspisteessä 874 kilogrammaa ja lähtevässä 587 kilogrammaa. Fosforikuormitus esitetään kuukausittain kuviossa 10.



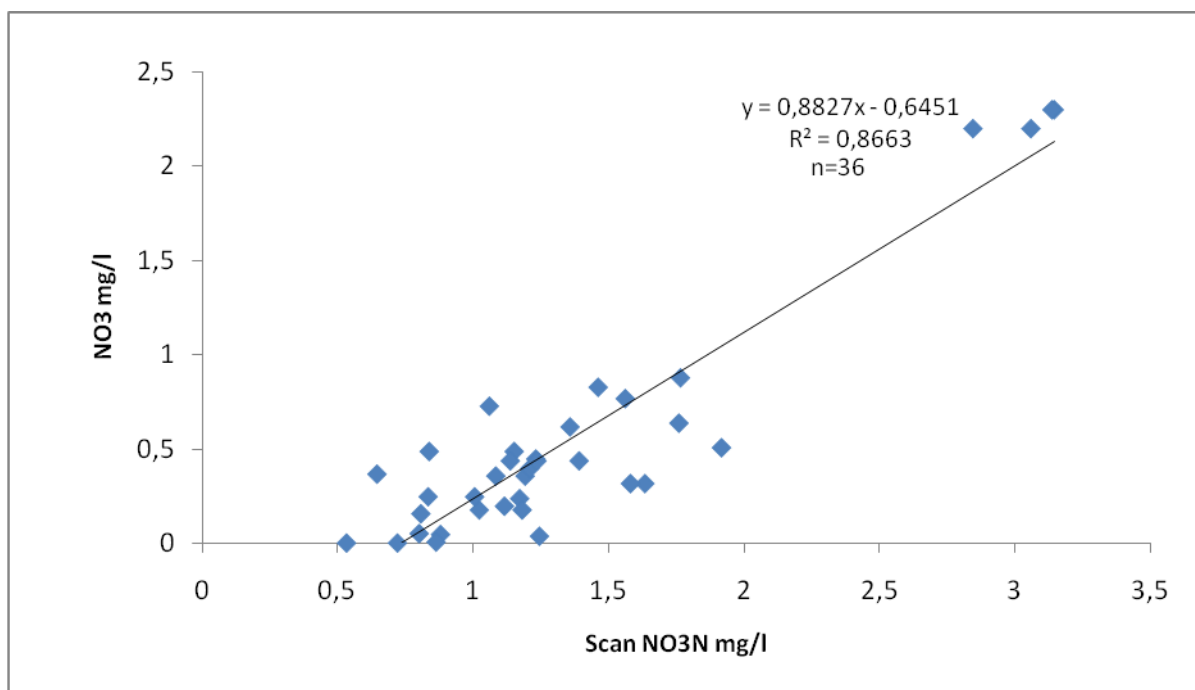
Kuvio 10. Krapuojan tulevan ja lähtevän mittauspisteen fosforikuormitus kilogrammoissa kuukausittain.

Typipitoisuudet on laskettu S::can Nitro::lyserin mittaaman datan perusteella. S::canin mittausjakso oli koko mittausjaksoa lyhyempi, 8.4.2009 – 31.5.2010. S::canin mittaustulos jälkikalibroidaan paikallisiin olosuhteisiin vertaamalla S::canin nitraattityypitulosta laboratorion kokonaistyyppitulokseen. Tällä tavalla saadaan kokonaistypen laskemiseen tarvittava regressioyhtälö. Muunnoskaavana käytettiin $0,9027x + 0,0778$ jossa $x = \text{S::canin nitraattityppi}$. Vertailu esitetään kuviossa 11.



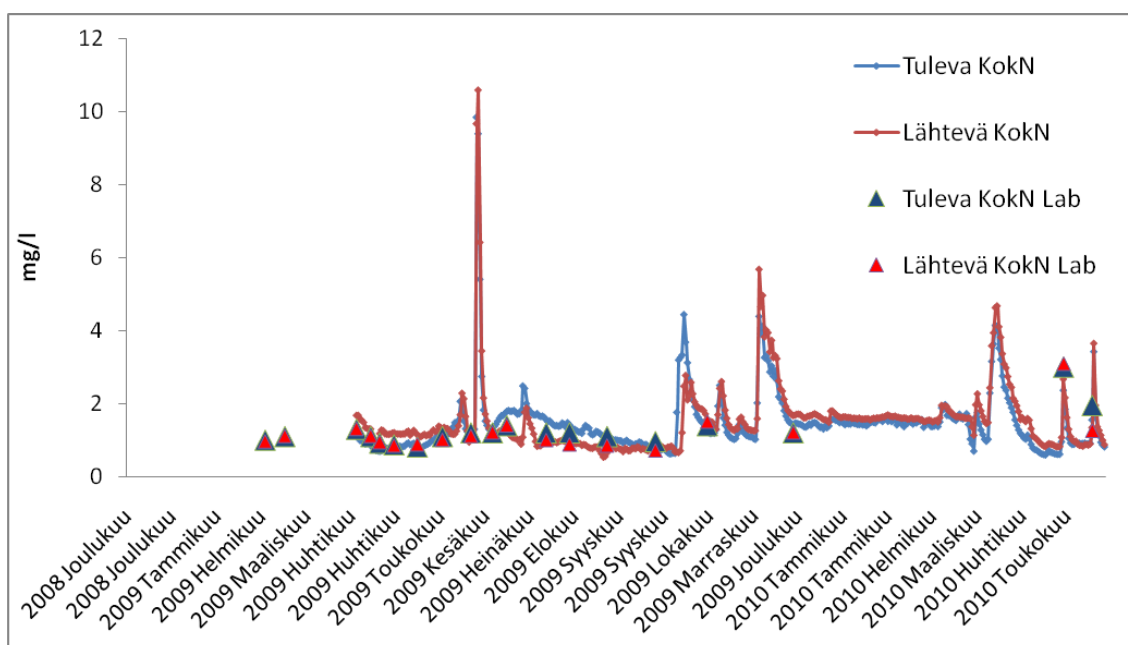
Kuvio 11. S::canin nitraattitypen ja laboratorionäytteiden kokonaistypen vertailu ja muunnokseen käytetty regressioyhtälö.

Nitraattityypipitoisuudet on laskettu S::can Nitro::lyserin mittaaman datan perusteella. S::canin mittaustulos jälkikalibroidaan paikallisiin olosuhteisiin vertaamalla S::canin nitraattityypitulosta laboratorion nitraattityypitulokseen. Tällä tavalla saadaan nitraattitypen laskemiseen tarvittava regressioyhtälö. Muunnoskaavana käytettiin $0,8827x - 0,6451$ jossa x =S::canin nitraattityppi. Vertailu esitetään kuviossa 12.



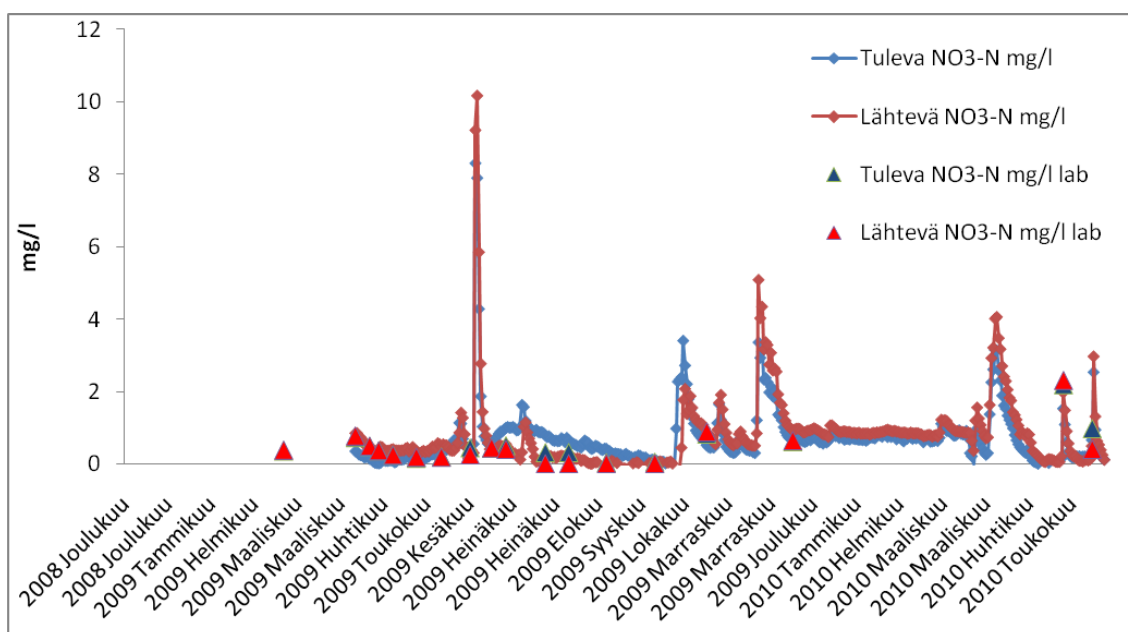
Kuvio 12. S::canin nitraattitypen ja laboratorionäytteiden nitraattitypen vertailu ja muunnokseen käytetty regressioyhtälö.

Kokonaistyyppipitoisuuksien päiväkeskiarvot esitetään kuviossa 13. Jatkuvatoiminen data ja laboratorionäytteiden tulokset ovat yhteneväisiä. Pitoisuudet vaihtelivat noin yhdestä enimmillään reiluun 10 mg/l. Kokonaistyyppipitoisuus on ollut talvikuukausina korkeammalla tasolla kuin avoveden aikaan. Tällöin suurin osa kokonaistypestä on nitraattityppeä. Kaikki tuloksissa nähtävät piikit ovat tapahtuneet samanaikaisesti virtaamahuippujen kanssa. Kokonaistypen määrä on ollut lähes koko mittausjakson ajan lähtevässä mittauspisteessä korkeampi kuin tulevassa. Poikkeuksen muodostaa ajanjakso kesäkuulta lokakuun alkupuolelle vuonna 2009.



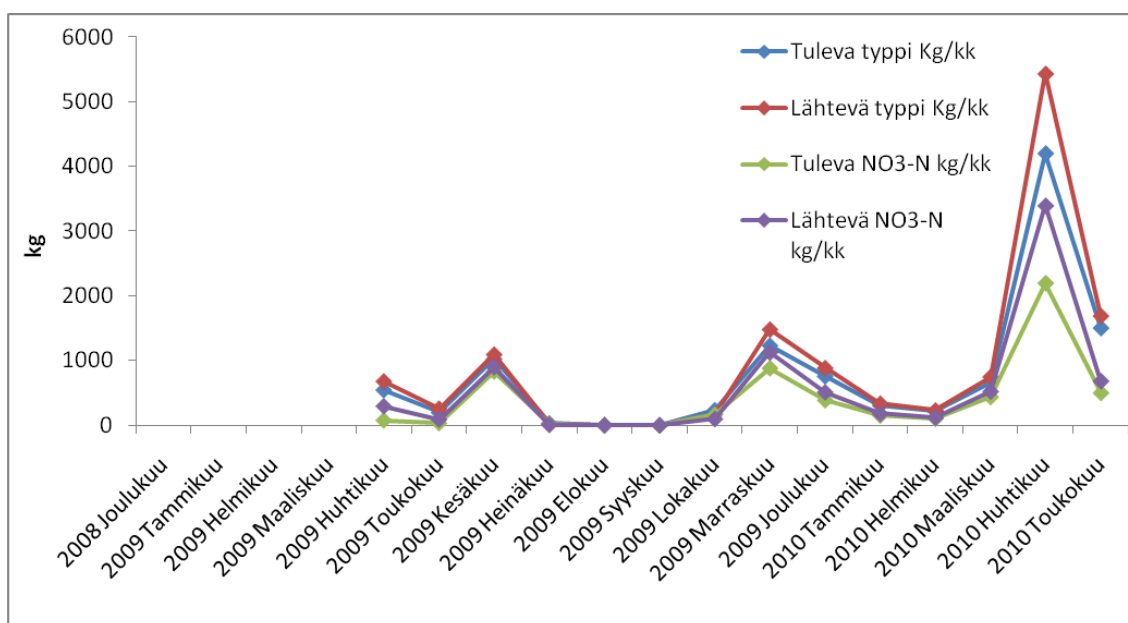
Kuvio 13. Krapuojan tulevan (N=19986) ja lähtevän (N=19804) mittauspisteen tyyppipitoisuudet sekä laboratorionäytteiden tulokset (N=19).

Kuviossa 14 esitetään Krapuojan mittauspisteiden nitraattityppipitoisuudet. Nitraattityppipitoisuudet noudattavat samaa kaavaa kuin kokonaistyyppipitoisuudet, ja huiput ajoittuvat samoihin ajankohtiin. Pitoisuudet vaihtelivat nollan tuntumasta suurimman nitraattihuipun noin 10 mg/l. Kuviossa on nähtävissä nitraattitypen olevan korkeammalla tasolla talvikuukausina marraskuusta 2009 maaliskuuhun 2010. Tämä johtuu siitä, että nitraattityppeä on kasvukauden aikaan vähemmän, koska levät ottavat sen käyttöönsä. Myös laboratorioanalyysien nitraattityppipitoisuudet sijoitettiin kuvioon, ja ne ovat yhteneväisiä jatkuvatoimisilla mittalaitteilla saadun datan kanssa.



Kuvio 14. Krapuojan tulevan (N=19986) ja lähtevän (N=19804) mittauspisteen nitraattityppipitoisuudet sekä laboratorionäytteiden tulokset (N=19).

Kuviossa 15 esitetään kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormitukset kilogrammoina kuukausittain. Kuormitushuiput ovat yhteneväisiä virtaama-, kiintoainekuormitus- ja fosforikuormitushuippujen kanssa. Kokonaistyyppikuormitus vaihtelee noin nollasta lähes 5000 kilogrammaan kuukaudessa. Nitraattityppikuormitus vaihteli noin nollasta 3000 kilogramman tuntumaan. Mittausjakson suurin kuormitushuippu osui kevääseen 2010. Muina aikoina se kävi korkeimmillaan tuhannessa kilossa/kk. Koko mittausjakson kokonaistyyppikuormitus oli tulevassa mittauspisteessä 10900 kg ja nitraattityppikuormitus 5770 kg. Lähtevän mittauspisteen kokonaistyyppikuormitus oli koko mittausjaksolla yhteensä 13027 kg ja nitraattityppikuormitus 7930 kg.

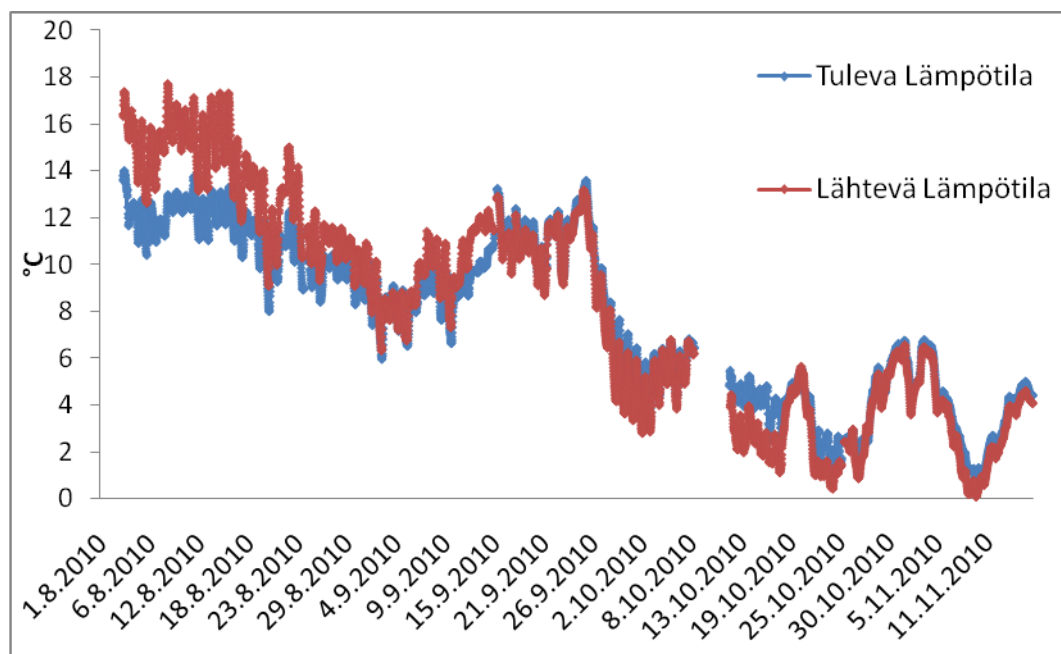


Kuvio 15. Krapuonjan kuukausittaiset kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormat.

3.2 Nautela

Veden lämpötila, sähkönjohtavuus, pH ja happipitoisuus

Nautelan mittausjakson veden lämpötilat vaihtelivat 18:sta lähes nollan asteeseen. Elokuun ajan olivat tulevan mittauspisteen veden lämpötila-arvot huomattavasti lähtevää kylmempiä. Ne tasaantuivat syyskuussa, jonka jälkeen tulokset olivat yhteneväisiä lähes koko lopun mittausjakson ajan. Syyskuun lopussa vedet viilenivät selvästi. Marraskuun alkupuolella veden lämpötila nousi hetkellisesti, jonka jälkeen se laski takaisin nollan asteen tietämille. Tämän jälkeen tuli vielä yksi lyhyt lämpimämpi jakso, jonka jälkeen vedet pian jäätivät ja mittausjakso päättyi. Tulokset esitetään kuviossa 16.



Kuvio 16. Nautelan tulevan (N=4794) ja lähtevän (N=4796) mittauspisteen veden lämpötilan tulokset.

Nautelan sähkönjohtavuus oli makeaksi vedeksi verraten korkealla tasolla mittausjakson alussa. Syyskuun puolivälissä voimakkaiden sateiden jälkeen sähkönjohtavuudessa tapahtui huomattava pudotus. Tämän laskun jälkeen lähtevän mittauspisteen sähkönjohtavuus on ollut hieman tulevaa korkeammalla tasolla. Molempien mittauspisteiden sähkönjohtavuus nousi syyskuun puolivälin laskun jälkeen nousemaan, ja hetken vaihtelun jälkeen arvot laskivat takaisin matalammalle tasolle. Tulokset esitetään Liitteessä 2 kuviossa 1.

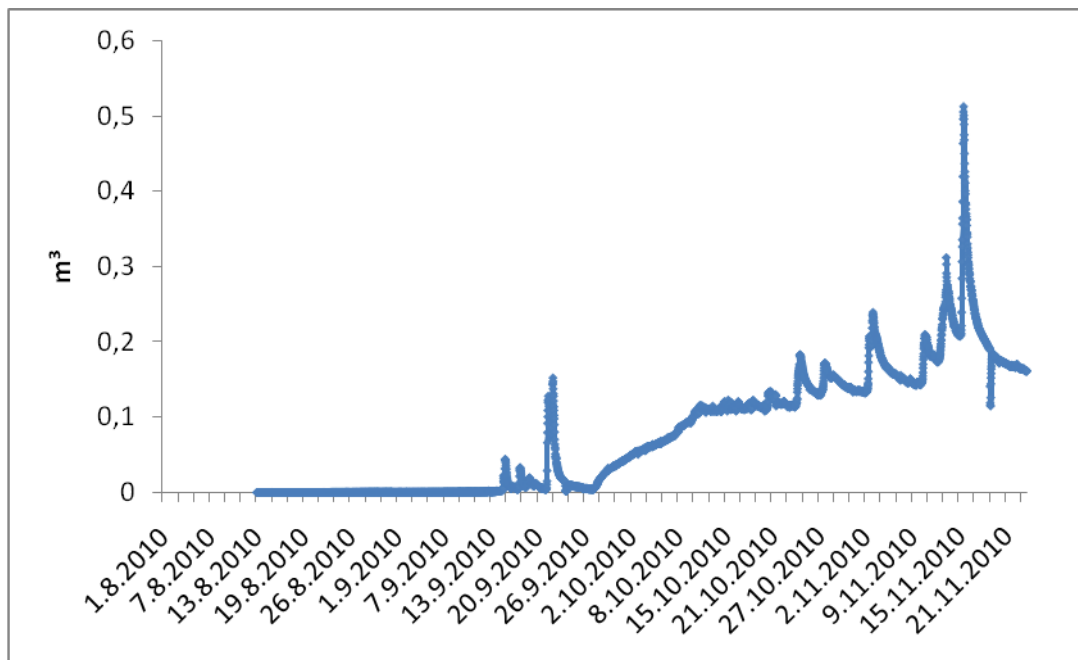
Nautelan pH arvot vaihtelivat noin 6,2:n ja 7,6:n välillä. Elokuun alusta syyskuun puoliväliin saakka tulevalta mittauspisteeltä mitattujen arvojen välillä on jonkin verran vaihtelua, kuitenkin huomattavasti vähemmän kuin lähtevän mittauspisteen tuloksissa. Lähtevän mittauspisteen pH:n vaihtelun havaittiin johtuvan perustuotannon vuorokausirytmistä. Syyskuun puolivälissä pH arvot laskevat molemmissa mittauspisteissä, ja syyskuun lopussa ne eriävät toisistaan. Tulevan mittauspisteen tulokset jäävät suunnilleen samalle tasolle, ja lähtevän mittauspisteen tulokset nousevat vajaasta 7:stä reiluun 7:n. Tulokset esitetään Liitteessä 2 kuviossa 2.

Mittauspisteiden välillä on selvä ero happipitoisuuksissa mittausjakson alussa ja keskivaiheilla. Tulevan mittauspisteen happipitoisuus vaihteli elokuun alusta syyskuun puoliväliin saakka noin nollan ja 2 mg/l välillä, ja lähtevän mittauspisteen happipitoisuus välillä 4–6 mg/l paria huippua lukuun ottamatta. Lämpimän veden aikaan happipitoisuutta laskee perustuotanto, joka kuluttaa happea. Syyskuun puolivälissä sateet nostivat happipitoisuuden vajaaseen 10 mg/l ja happipitoisuudet olivat hetken yhteneväisiä. Syyskuun lopussa tulokset olivat eriäviä niin, että lähtevän mittauspisteen happipitoisuus oli korkeampi lokakuun loppuun saakka. Tällöin happipitoisuus nousi molemmissa mittauspisteissä ja oli noin 10 mg/l mittausjakson loppuun asti. Tulokset esitetään Liitteessä 2 kuviossa 3.

Virtaama

Pinnankorkeustietoja Nautelan kohteesta mitattiin yhteensä 4933 kappaletta. Ne muunnettiin virtaamaksi mittapadon laskukaavan avulla. Käytetty kaava oli $(2,47 \cdot (h^{2,5})) \cdot 1000$. Kaavassa h =pinnankorkeus. Pinnankorkeudet mitattiin mittapadon yhteydessä pinnankorkeusanturilla.

Virtaama vaihteli välillä 0-0,5 m³/s. Mittausjakson alussa virtaama oli hyvin lähellä nollassa syyskuun puoliväliin saakka. Tällöin virtaamassa oli nähtävissä muutamia piikkejä, joista syyskuun lopussa tapahtunut oli selvästi suurempi. Syyskuun lopun virtaamahuipun jälkeen virtaama lähti tasaiseen nousuun ja nousi noin 0,1 m³/s. Tämän jälkeen virtaamat pysyivät koko lopun mittausjakson ajan korkealla syysateiden vuoksi. Mittausjakson lopussa on nähtävissä selkeä piikki, jossa virtaama oli yli 0,5 m³/s. Virtaamatulokset esitetään kuviossa 17. Kuvissa 21-22 on nähtävissä Nautelan mittapadon erilaisia virtaamatilanteita vaihteluiden havainnollistamiseksi.



Kuvio 17. Nautelan virtaama m³/s (N=4933).



Kuva 21. Nautelan virtaama 20.8.2010. $Q=0,001 \text{ m}^3/\text{s}$.

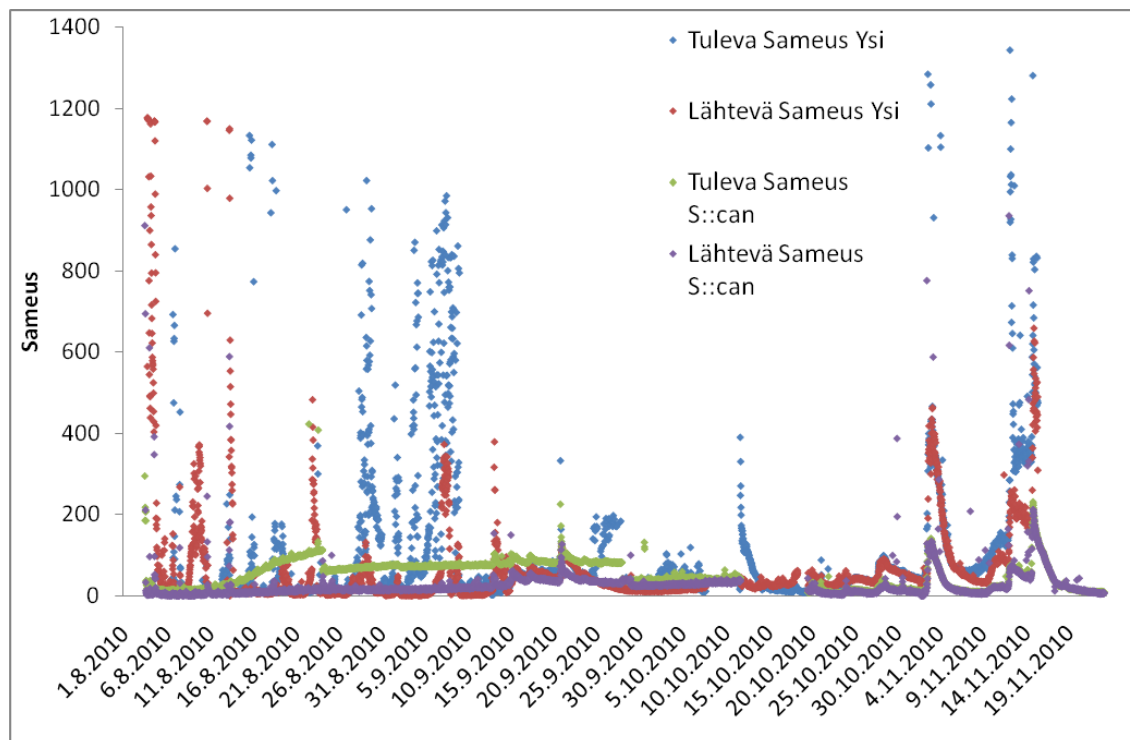


Kuva 22. Nautelan virtaama 16.11.2010. $Q= 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sameus ja nitraatti

Nautelan kohteesta ei saatu tarpeeksi kattavaa vesinäyteaineistoa luotettavien muunnoskaavojen muodostamiseen. Tämän vuoksi kohteesta esitetään jatkuvatoimisten mittalaitteiden tuottamat sameus- ja nitraattitulokset.

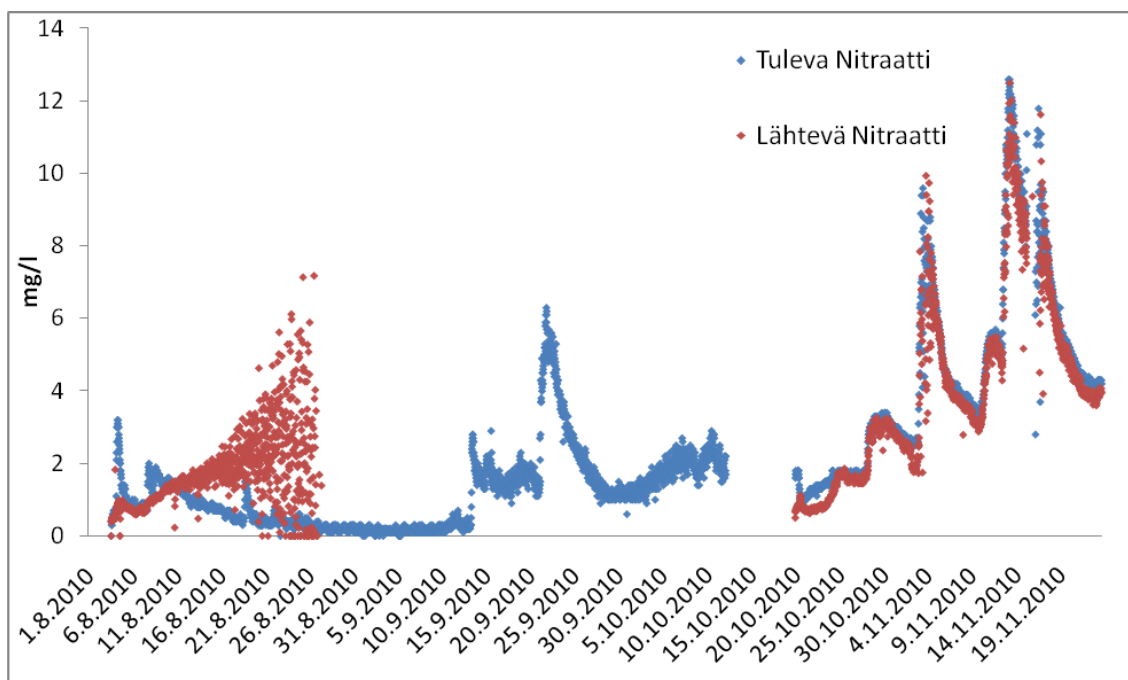
Sameuksien vaihtelu oli mittausjakson alussa suurta. Mittausjakson alussa sameudet vaihtelivat moniparametrisondien välillä. Samaan aikaan S::canien mittaamat sameustulokset olivat tasaisempia. Mittalaitteiden välilläkin oli eroa mittausjakson alussa. Tulevan mittauspisteen laite oli mitannut korkeampia tuloksia, kuin lähtevän mittauspisteen. Syyskuun puolivälissä alkoivat laitteiden mittaustulokset olla pääasiallisesti samankaltaisia, ja huiput osuivat suurimmaksi osaksi samoihin ajankohtiin. Mittausjakson loppuun osuivat runsaimmat syyssateet, jotka aiheuttivat selkeimmät, kaikissa mittalaitteissa näkyvät huiput sameustuloksissa. Tulokset esitetään kuviossa 18.



Kuvio 18. Nautelan sameustulokset tulevan mittauspisteen S::canista (N=5027) ja YSistä (N=4876), sekä lähtevän mittauspisteen S::canista (N=5092) ja YSistä (N=5012).

Nitraattitypen tuloksissa esiintyi vaihtelua reilun nollan ja 12 mg/l välillä. Suurimmat nitraattityppiärvot on mitattu molemmissa mittauspisteissä, kun virtaamat ovat kasvaneet. Nitraattityppiärvon nousu johtui siis sateiden aiheuttamasta maa-aineksen huuhtoutumisesta. Lähtevän mittauspisteen nitraattityppiärhoissa on havaittavissa hajontaa mittausjakson alkupuolella. Tulokset vaihtelivat nollan ja vajaan 8 mg/l välillä. Tällainen vaihtelu ei selity ympäristötekijöillä. Tämän vuoksi tulokset on tulkittu virheellisiksi. Tämän jälkeen lähtevän mittauspisteen tuloksissa on yli kuukauden datakatko. Datakatko johtui laiteviasta, joka saatiin korjattua vasta lokakuun puolivälissä. Tällöin myös tulevan mittauspisteen laite oli huollossa. Huollosta aiheutui noin viikon mittainen datakatko tulevaan mittauspisteeseen. Lopun mittausjakson ajan molempien mittalaitteiden tulokset olivat samankaltaisia. Tuloksissa

nähtävät huiput noudattavat sameustuloksien huippuarvoja. Tulokset esitetään kuviossa 19.

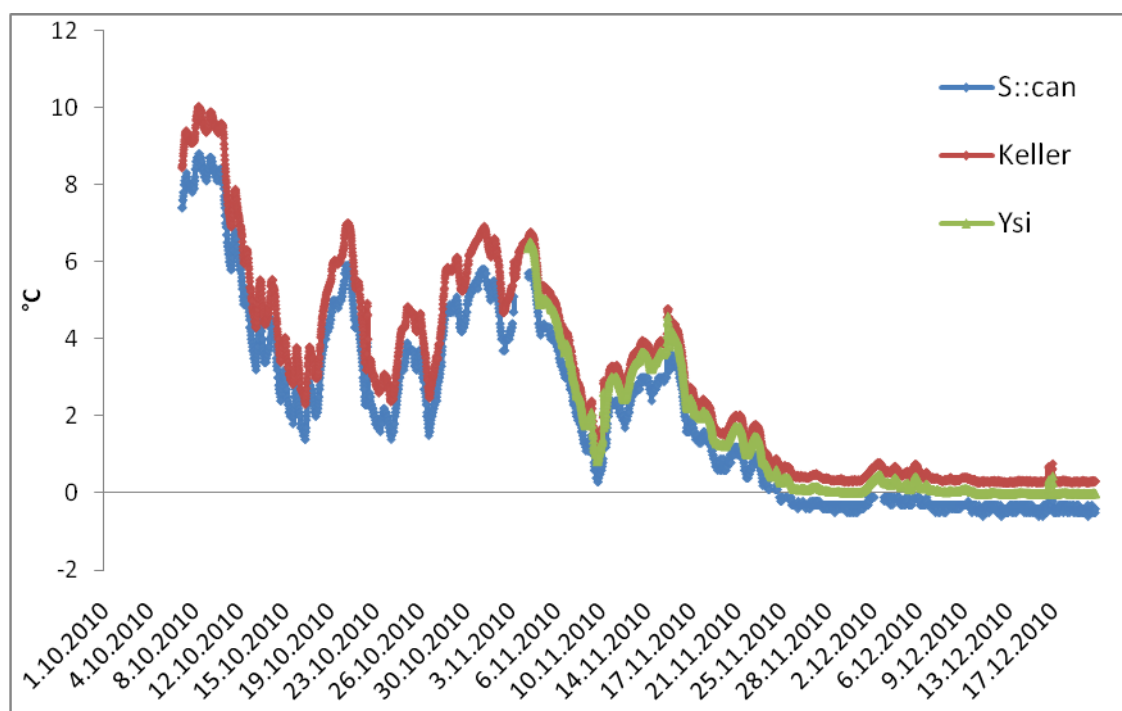


Kuvio 19. Nautelan kohteen tulevan (N=4982) ja lähtevän mittauspisteen (N=3348) nitraattitulokset.

3.3 Jokioja

Veden lämpötila ja sähkönjohtavuus

Jokiojan veden lämpötilaa on mitattu kolmella eri laitteella, S::can Nitro::lyserilla, YSI moniparametrisondilla ja Keller-paineanturilla. Kaikkien laitteiden mitaamat tulokset ovat yhdenmukaisia koko mittausjakson ajan. Kellerin ja S::canin mittaamien tulosten välillä on koko mittausjakson ajan asteen ero, joiden väliin asettuu ennalta tarkimmaksi arvioitu YSI moniparametrisondi. Veden lämpötilat vaihtelivat välillä 0- +10. Veden lämpötila laski muutaman kerran nopeasti ilmojen viiletessä. Lämpötila oli nollan tuntumassa marraskuun lopusta lähtien, kun vesistöön tuli pysyvä jääkansi. Lämpötilat esitetään kuviossa 20.

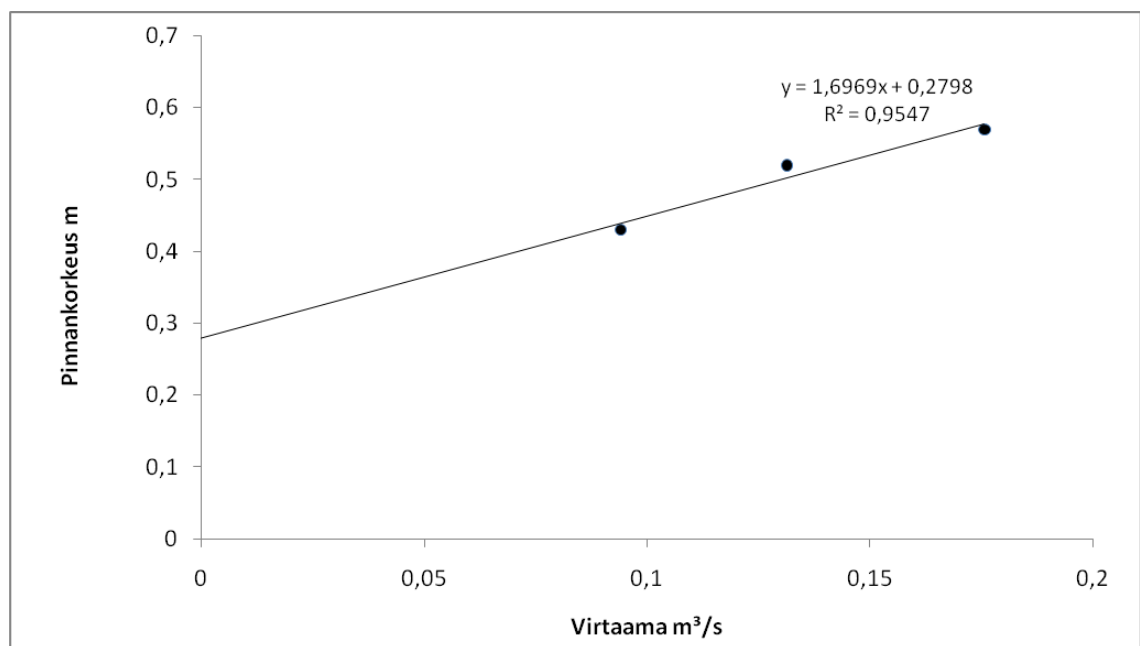


Kuvio 20. Jokiojan veden lämpötila kolmella eri laitteella mitattuna, S::can (N=3346), YSI (N=2207) ja Keller (N=3553).

Sähkönjohtavuutta mitattiin marraskuun alusta mittausjakson loppuun. Tällä aikavälillä sähkönjohtavuus vaihteli noin 400–1200 $\mu\text{s}/\text{cm}$:n välillä. Suuremman virtaaman aikana, sateiden jälkeen, sähkönjohtavuus laski kahdesti marraskuussa. Tämän jälkeen se oli lopun mittausjakson ajan samalla tasolla. Sähkönjohtavuustulokset esitetään Liitteessä 3 kuviossa 1.

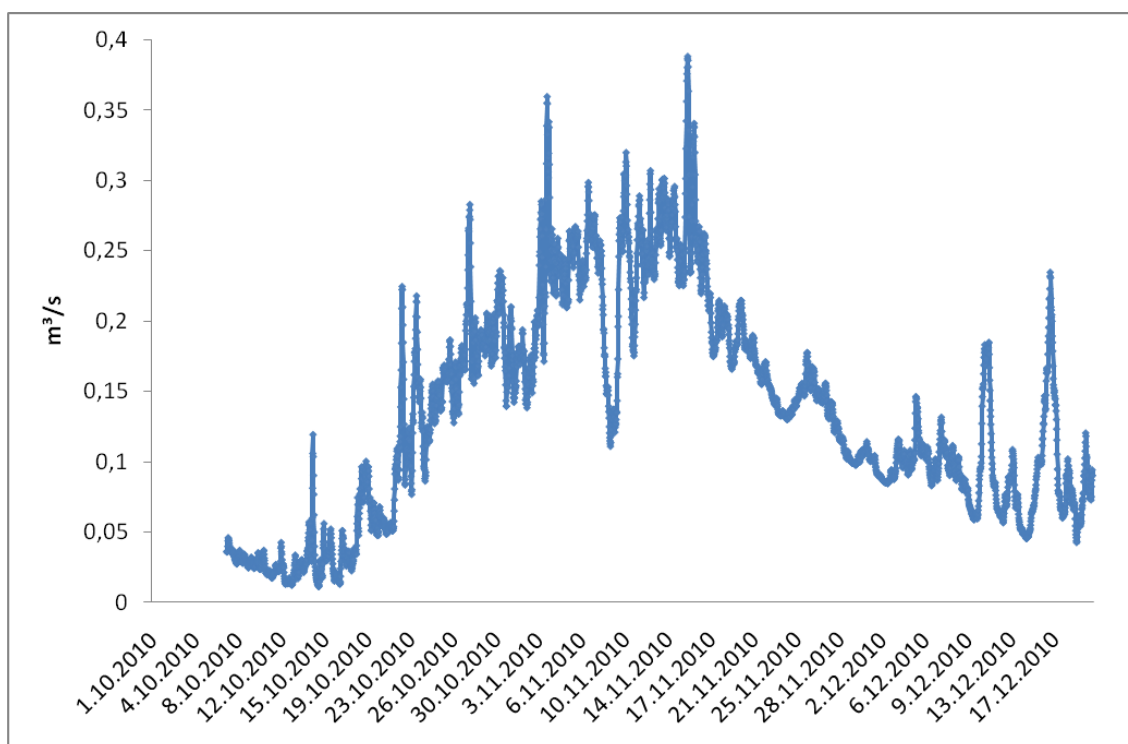
Virtaama ja purkautumiskäyrä

Jokiojan pinnankorkeudesta mitattiin 3553 tulosta, jotka muunnettiin virtaamatiedoksi kohteelle laaditun purkautumiskäyrän (kuvio 21) avulla. Purkautumiskäyrän muodostamiseksi mitattiin kohteesta virtaama kolmeen otteeseen erilaisissa virtaamatilanteissa. Virtaamamittauksia oli suunniteltu tehtäväksi enemmän, mutta vesistöön tullut paksu jääkansi esti mittausjakson jatkamisen virtausmittauksineen. Virtaaman laskemiseen käytettiin regressioyhtälöä $Q = 1,6969h + 0,2798$ jossa h =pinnankorkeus.



Kuvio 21. Jokiojan purkautumiskäyrä.

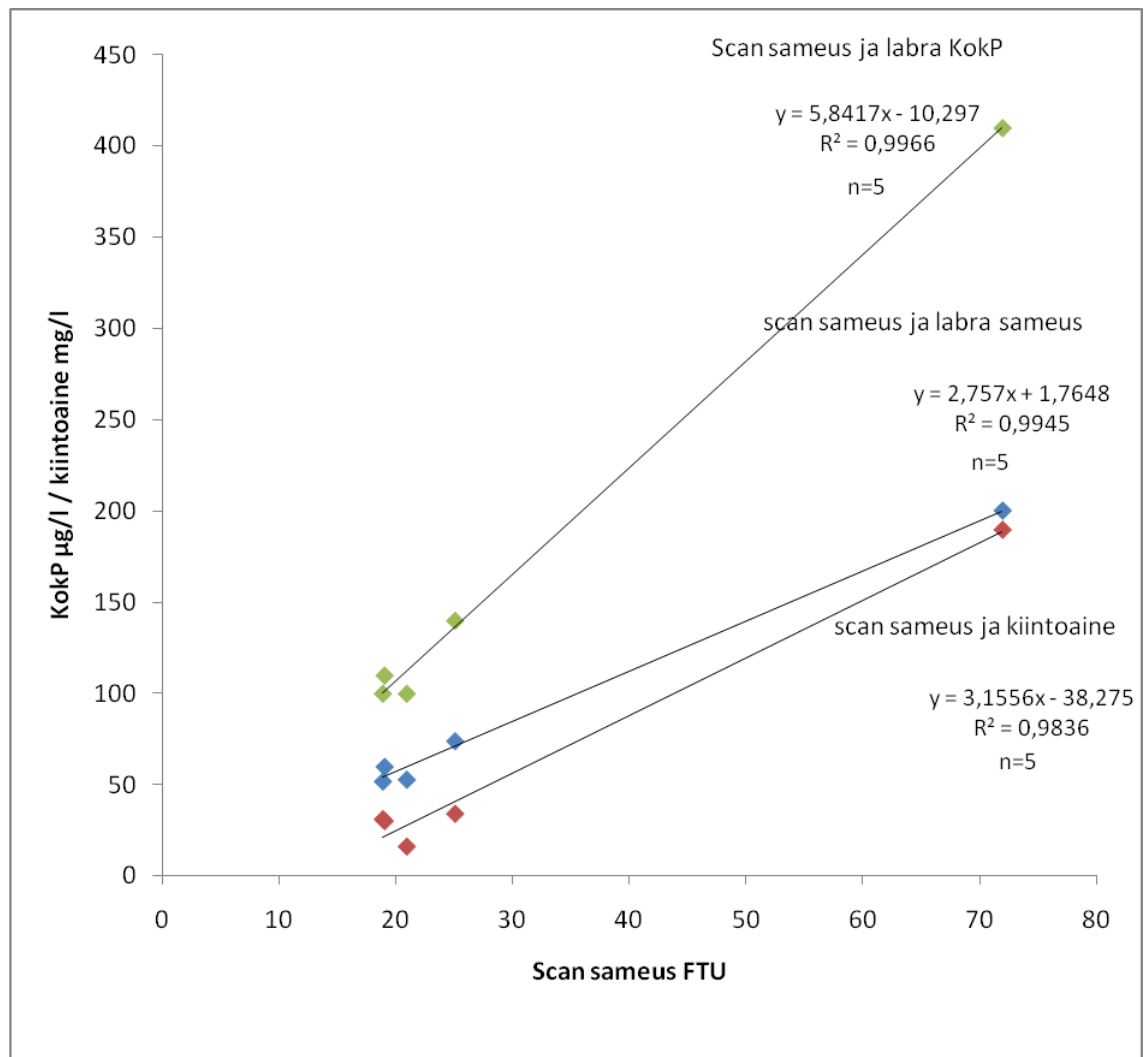
Jokiojan laskennalliset virtaamat vaihtelevat mittausjaksolla välillä 0,01–0,39 m³/s. Virtausmittaukset on tehty välillä 0,09–0,2 m³/s, jolloin suurin osa aineistosta on luotettavaa. Virtaama on ollut suurimmillaan marraskuun alkupuoliskolla, ennen jääkannen muodostumista. Virtaama laski tasaisesti marraskuun puolivälin jälkeen. Kaikki Jokiojan virtaamatulokset esitetään kuviossa 22.



Kuvio 22. Jokiojan virtaama m³/s (N=3553).

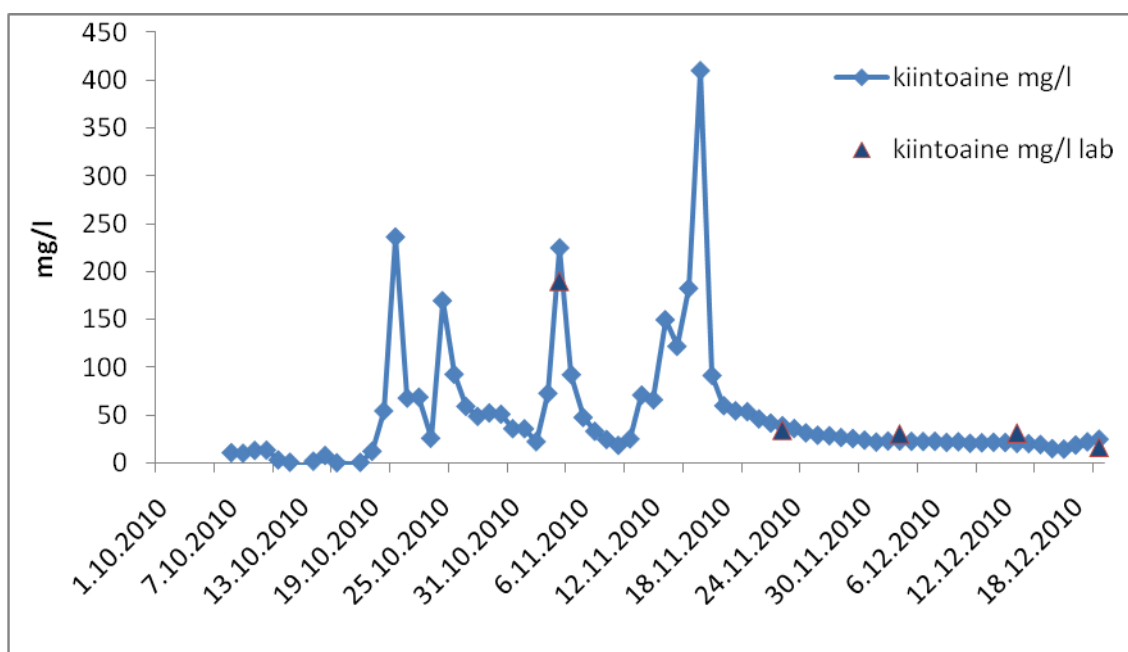
Kiintoaine

Jokiojan sameutta mitattiin S::can Nitro::lyserilla. Kiintoaineen määrän laskemiseksi verrattiin S::canin mittaamaa sameusdataa laboratorioanalyyseistä saatuihin kiintoainetuloksiin. Niiden välille muodostettiin regressioyhtälöt. Vertailussa käytettiin näytteenottohetken kanssa samanaikaista yksittäistä sameusmittausta, sekä viiden näytteenottohetkeä lähinnä olevan sameusmittauksen keskiarvoa. Näitä tuloksia verrattiin laboratorioanalyysin sameus- ja kiintoainetuloksiin. Paras selitysaste ($R^2=0,9836$) saatiin yksittäiselle sameusmittaukselle ja laboratorion kiintoainemääritykselle. Muunnoskaavana käytetty regressiosuora oli $3,1556x-38,275$, jossa $x=S::canin$ sameustulos. Tällä kaavalla laskettiin kiintoainekuormitus koko mittausjakson ajalle. Kuviossa 23 esitetään sameusarvojen vertailu laboratorion kiintoaine-, sameus- ja kokonaisfosforituloksiin.



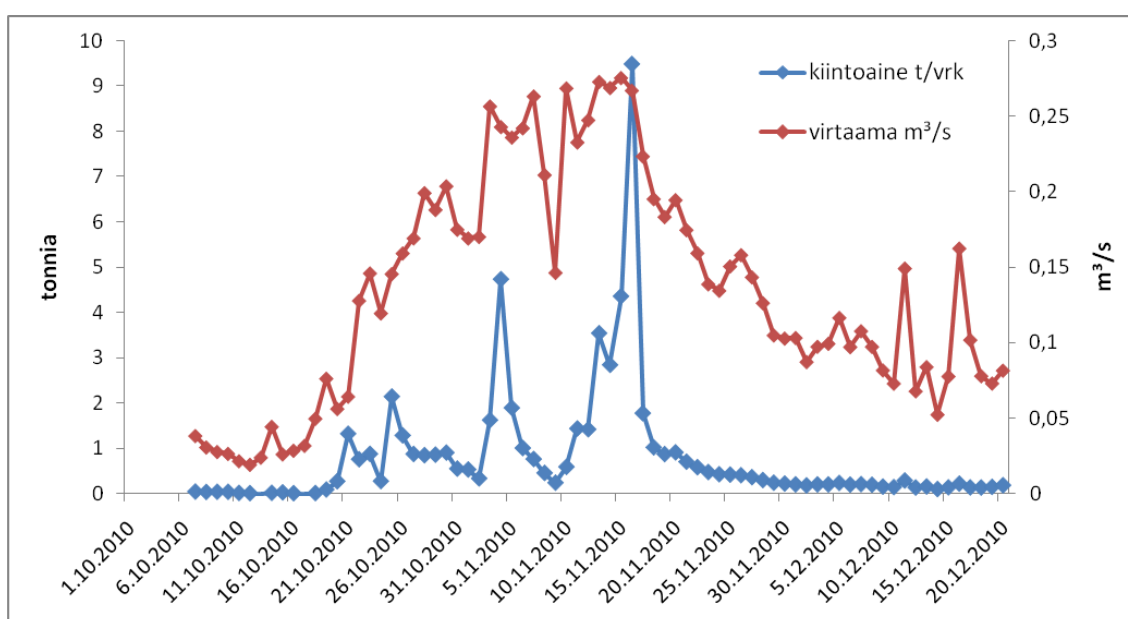
Kuvio 23. Jokiojan jatkuvatoimisen mittalaitteen sameustulosten ja laboratorionäytteiden sameus-, kiintoaine- ja fosforitulosten vertailu.

Jokiojan laskennallinen kiintoainepitoisuus vaihteli nollan tuntumasta suurimpaan huippuun 400 mg/l. Mittausjakson alussa kiintoainepitoisuus oli noin 10 mg/l tuntumassa lokakuun puoliväliin saakka. Tällöin virtaama nousi. Kiintoainepitoisuudessa on vaihtelua lokakuun lopusta marraskuun puoliväliin saakka. Tällä ajanjaksolla virtaamakin oli korkeimmillaan. Tämän jälkeen kiintoainepitoisuus laski tasaisesti, ja jäi noin 20 mg/l:n tuntumaan. Vesistöön muodostui jääkansi marraskuun lopussa. Jääkannen muodostuttua kiintoainepitoisuus oli talvisella, matalalla tasolla. Kiintoainepitoisuudet esitetään kuviossa 24 laboratorion kiintoainetulosten kanssa.



Kuvio 24. Jokiojan kiintoainetulokset (N=3394) vuorokausikeskiarvoina ja laboratorionäytteiden kiintoainetulokset (N=5).

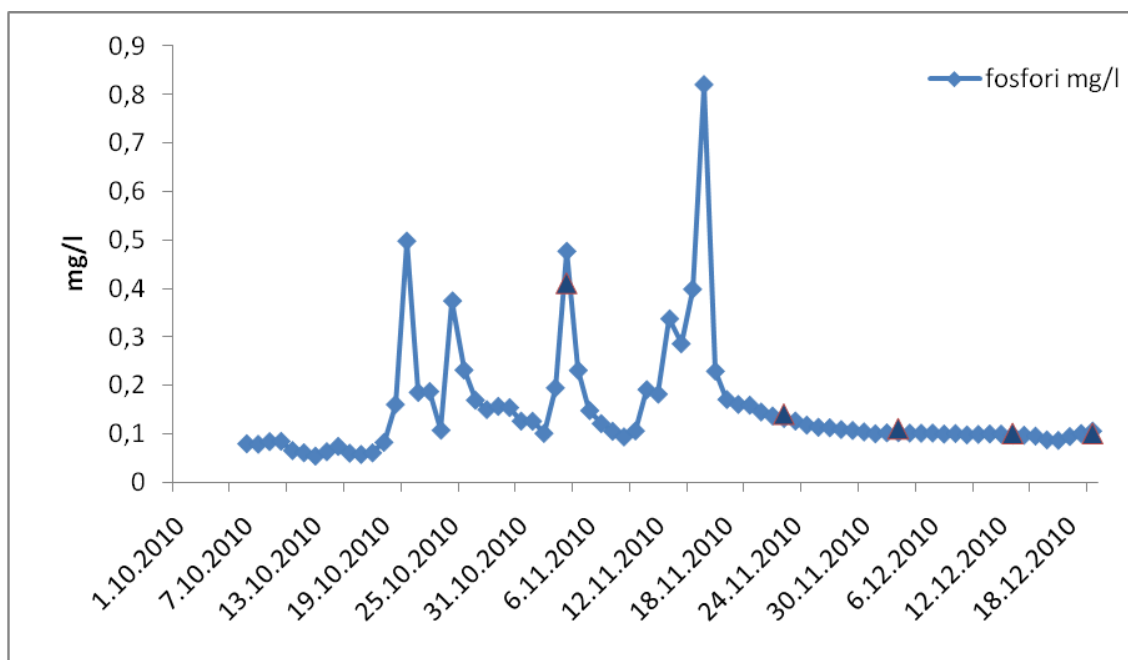
Jokiojan kiintoainekuormitus mittausjaksolla esitetään kuviossa 25 vuorokausikeskiarvoina tonneissa. Kuormitus vaihteli läheltä nollaa lähes 10 tonniin. Mittausjakson alussa kuormitus on ollut lähellä nollaa. Lokakuun puolessa välissä virtaama kasvoi, jonka jälkeen kuormituksessakin näkyy piikkejä. Kuormitushuiput seuraavat virtaaman nousuja. Marraskuun loppupuolelle vesistön jäätyksen myötä kiintoainekuormitus lähti tasaiseen laskuun. Koko mittausjakson kiintoainekuormitus oli yhteensä 58 tonnia.



Kuvio 25. Jokiojan kiintoainekuormitus tonneissa ja virtaama m³/s.

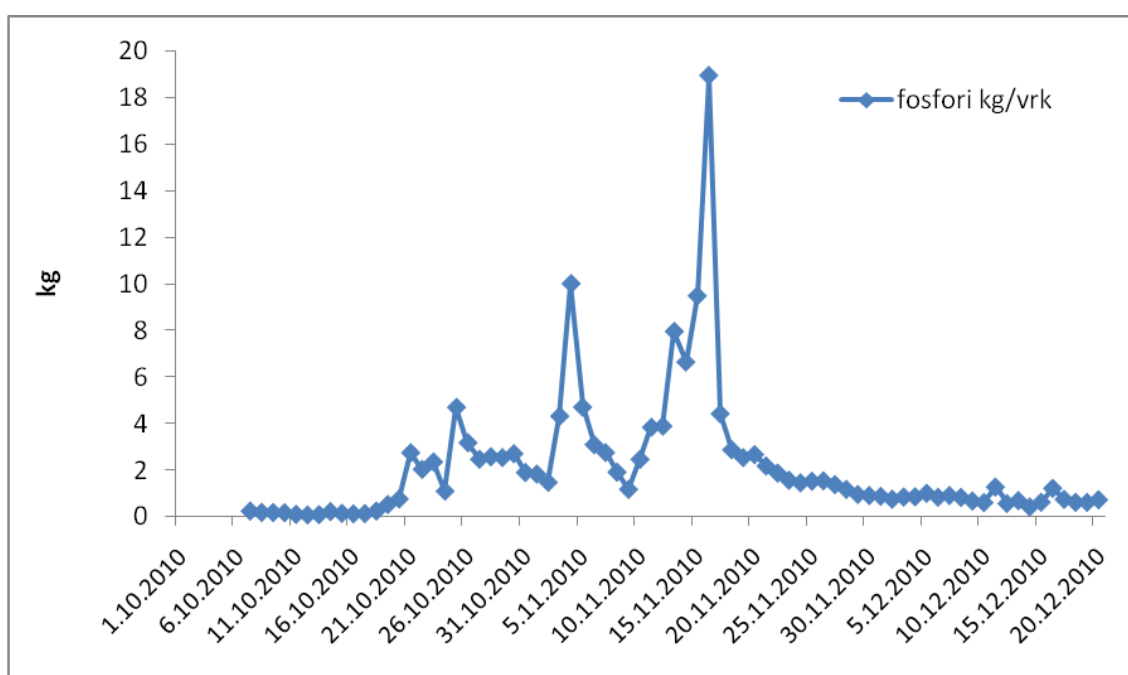
Ravinteet

Kokonaisfosforipitoisuudet Jokiojan mittausjaksolla vaihtelivat noin 0,1 ja 0,9 mg/l välillä. Fosforipitoisuuksien vaihtelu on yhtenäistä kiintoainepitoisuuksien vaihtelun kanssa. Se on mittausjakson alussa tasainen noin 0,1 mg/l tuntumassa. Lokakuun puolivälissä virtaamaan noustua, tapahtui fosforipitoisuudessa voimakas kasvu. Tämän jälkeen fosforipitoisuus vaihteli, ja siinä näkyy pieniä piikkejä, joista suurin oli 0,8 mg/l. Tämän jälkeen fosforipitoisuus laski, ja se jäi noin 0,1 mg/l tasolle. Fosforipitoisuudet esitetään kuviossa 26 laboratorion kokonaisfosforitulosten kanssa.



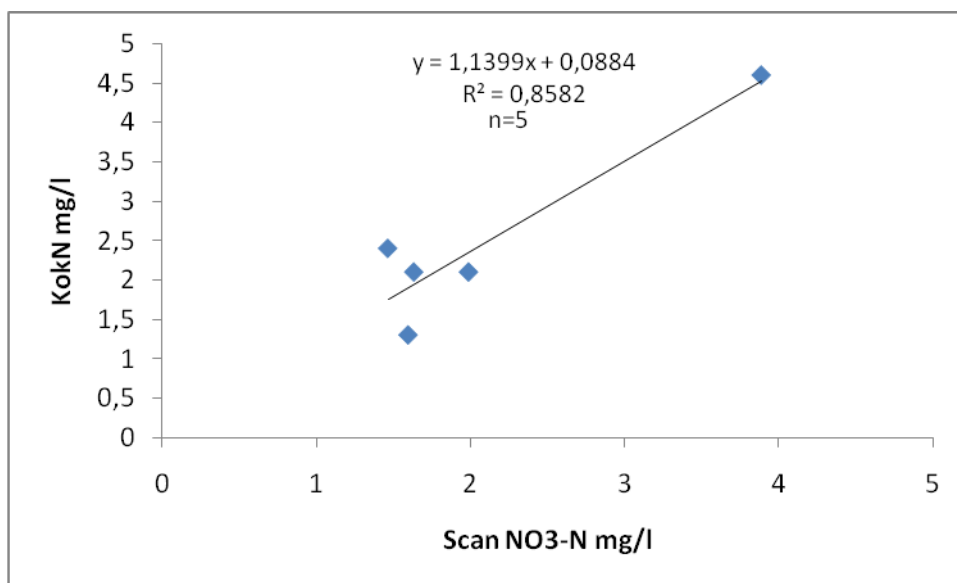
Kuvio 26. Jokiojan fosforipitoisuuksien (N=3394) vuorokausikeskiarvot ja laboratorionäytteiden fosforitulokset (N=5).

Fosforikuormituksen huippu mittausjaksolla oli 16.11.2010 jolloin se oli vajaa 19 kg/vrk. Muut piikit olivat huomattavasti pienempiä, ja ajoittuivat lokakuun ja marraskuun puolivälien väliseen aikaan, jolloin virtaama oli korkea. Mittausjakson alussa ja lopussa fosforikuormitus oli tasaista, noin kg/vrk. Vesistön jäätymisen jälkeen fosforikuormitus laskee tasaisesti. Koko mittausjakson fosforikuormitus oli yhteensä 160 kg. Fosforikuormitus esitetään kuviossa 27.



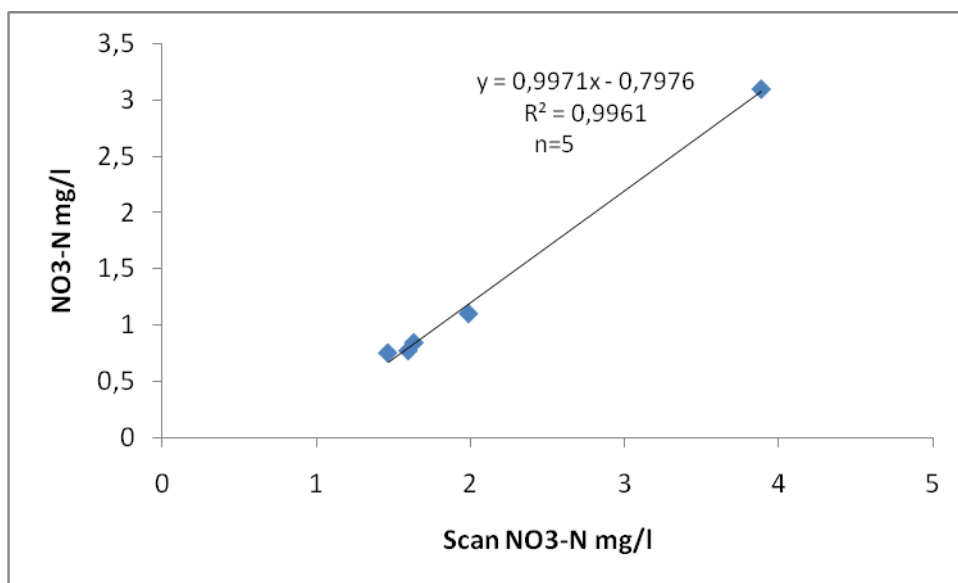
Kuvio 27. Jokiojan fosforikuormitus vuorokausikeskiarvoina kilogrammoissa.

Jokiojan kokonaistyyppipitoisuudet on laskettu S::can Nitro::lyserin mittaaman nitraattityypidatan perusteella. Kokonaistyyppipitoisuuksien laskemiseksi verrattiin jatkuvatoimisia nitraattityypituloksia laboratorion kokonaistyyppitulosten kanssa (kuvio 28). Tällä tavalla saatiin kokonaistypen laskemiseen tarvittava regressioyhtälö. Kokonaistypen laskemiseen käytettiin regressioyhtälöä $1,1399x + 0,0884$ jossa $x = \text{S::canin nitraattityppi}$.



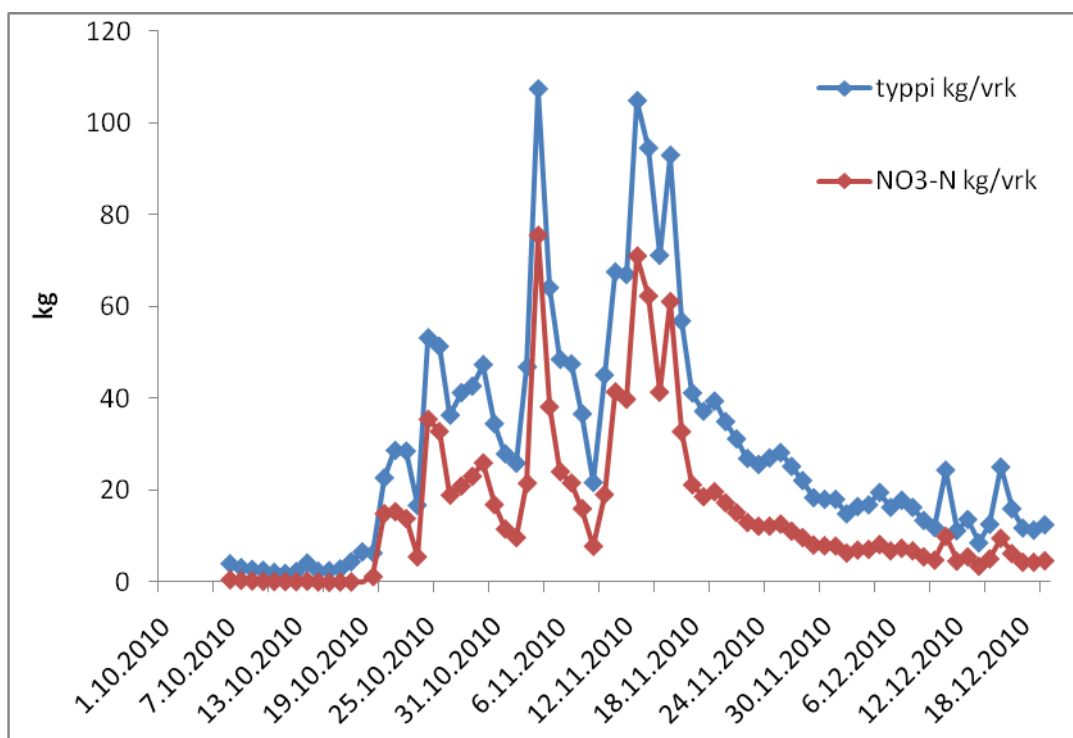
Kuvio 28. Jokiojan kohteen S::canin mittaaman nitraattityypen mg/l vertailu laboratoriomääritysten kokonaistyyppituloksiin mg/l.

Nitraattityypipitoisuudet on laskettu S::can Nitro::lyserin mittaaman datan perusteella. S::canin mittaustulos jälkikalibroidaan paikallisiin olosuhteisiin vertaamalla S::canin nitraattityypitulosta laboratorion nitraattityypitulokseen (kuvio 29). Tällä tavalla saadaan nitraattitypen laskemiseen tarvittava regressioyhtälö. Muunnoskaavana käytettiin $0,9971x - 0,7976$ jossa x =S::canin nitraattityppi.



Kuvio 29. Jokiojan kohteen S::canin mittaaman nitraattitypen mg/l vertailu laboratoriomääritysten nitraattityypituloksiin mg/l

Kuviossa 30 nähdään Jokiojan kohteen kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormitus vuorokausikeskiarvoina. Molemmat ovat yhdenmukaisia kuormituksen vaihtelussa. Kuormitushuiput tapahtuvat kun virtaama on korkealla. Jokiojan kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormitukset muuttuvat samalla tavalla kuin fosfori- ja kiintoainekuormitukset. Ne ovat mittausjakson alussa matalia, kasvavat sateiden myötä, ja laskevat nopeasti vesistön jäädyttyä. Jokiojan mittausjakson kokonaistyyppikuormitus oli 2160 kg ja nitraattityppikuormitus 1130 kg.



Kuvio 30. Jokiojan kokonaistyyppi- ja nitraattityppikuormitus vuorokausikeskiarvoina kilogrammoissa.

4 TULOSTEN TARKASTELU

4.1 Virtaama

Pinnankorkeuden mittalaitteisto osoittautui toimivuudeltaan luotettavaksi. Asennuksen jälkeen se toimi pitkiä aikoja eikä vaatinut jatkuvaa huoltoa. Krapuojalla ainoa pidempi katko syntyi laitevalmistajan ohjelmistopäivityksistä, jotka aiheuttivat alkutalvesta 2009 lähes kuukauden mittaisen datakatkon. Toinen pidempi datakatko oli loppukesällä 2009. Nautelassa ja Jokiojalla ei pinnankorkeuden osalta datakatkoja ilmennyt. Tähän vaikuttanee myös se, että näiden kohteiden mittausjaksot olivat Laukanlahtea huomattavasti lyhyempiä.

Virtaaman laskemiseen tarvitaan virtausmittauksista saatu tieto veden määrästä sen hetkisellä pinnankorkeudella. Mitä useammasta eri pinnankorkeustilanteesta tuloksia on, sitä luotettavammin voidaan virtaama laskea. Virtaama on luotettava niiden pisteiden väliltä, joilta virtausmittaukset on tehty. Jotta tieto virtaamasta on mahdollisimman luotettava, tarvitaan virtausmittauksia mahdollisimman monesta eri pisteestä.

Krapuojan purkautumiskäyrää varten tehtiin 7 virtausmittausta. Virtausmittaukset tehtiin eri pinnankorkeuksilla 0,15–0,41 m välillä. Tämä tekee suurimman osan virtaamatuloksista luotettavaa, joskin pinnankorkeuksien 0,26–0,41 m väliltä ei ole yhtään mittausta.

Jokiojalla virtausmittauksia ehdittiin tekemään vain kolmesti ennen vesistön jäätymistä. Virtaamat mitattiin 0,43–0,57 m välisillä pinnankorkeuksilla. Suurin osa mitatuista pinnankorkeustuloksista osuu tälle välille. Tähän vaikuttaa myös se, että Jokioja on syvyyteensä nähden leveä oja, jossa pinnankorkeusmuutokset eivät ole yhtä voimakkaita kuin kapeissa ja syvissä ojissa. Virtaama-aineistoa kohteen osalta tulee edelleen täydentää veden laadun mittausten jatkuessa.

Nautelassa veden määrä laskettiin pinnankorkeustiedon ja mittapadon laskukaavalla. Laskukaava määräytyi mittapadon koon mukaan.

Virtaaman vaihtelut näkyivät hyvin kunkin kohteen tuloksissa. Puolen tunnin mittausintervallilla pystyttiin mittaamaan nopeidenkin virtaamavaihteluiden tallentuminen, ja esimerkiksi virrankulutuksen kannalta tällainen intervalli ei ole liian tiheä. Nautelan ja Jokiojan tuloksissa on nähtävissä syyssateiden vaikutukset virtaaman selkeänä kasvuna. Laukanlahden tuloksissa nähdään sen sijaan koko vuoden virtaaman vaihtelu. Syyssateet ja keväiset sulamisvedet aiheuttavat suurimmat virtaamahuiput, etenkin vuoden 2010 maaliskuussa lumisen talven jälkeen.

Virtaamahuippujen on todettu olevan merkityksellisiä vesistön kokonaiskuormituksessa. Runsaat sateet ja sulamisvedet huuhtovat mukanaan kiintoainesta, jonka mukana ravinteet pääsevät kulkeutumaan vesistöön ja vapautumaan muun muassa leville käyttökelpoiseksi. Opinnäytetyön aineistoista käy ilmi, että virtaamahuiput muodostavat suurimman osan koko vuoden kuormituksesta. Kaikkien kohteiden valuma-alueilla on runsaasti savimaata. Sateiden jälkeen virtaamien kohotessa kasvavat kohteissa mitatut sameusarvotkin.

4.2 Kiintoainekuormitus

Sameustuloksia tulkittaessa tulee kussakin kohteessa huomioida siihen vaikuttavat tekijät. Selkeästi virheelliset tulokset tulee poistaa aineistosta. Jokaisen poistetun tuloksen tulee olla perusteltavissa. Tällaisia ovat muun muassa roskaantumisesta aiheutuneet virhetulokset. Likaantumisesta johtuvalle tulosten ryömiselle tai kalibrointivirheestä aiheutuneelle tulosten tasoerolle voidaan selkeissä tapauksissa määrittää korjauskertoimet. Nämä kaikki vaikuttavat kiintoaineen määrään.

Krapuojalla havaittiin kesällä 2009 ilmiö, jossa sameustulokset vaihtelivat vuorokauden sisällä. Tämän oletettiin johtuvan yhteyttämisestä. Yhteyttäminen tapahtuu päiväsaikaan, jolloin sameusarvotkin olivat korkeampia. Tämä havaittiin sekä tulevassa että lähtevässä mittauspisteessä. Auki jätetyn uoman

takia meriveden pääsy kosteikkoon mahdollistui meriveden ollessa korkealla eteläisten tuulien puhaltaessa. Nämä ajankohdat vaikuttavat mittaustuloksiin, niiden käyttökelpoisuuteen ja luotettavuuteen ravinne- ja kiintoainekuormitusta määritettäessä. Meriveden olo kosteikossa näkyy sähkönjohtavuudessa, joka on makeaan veteen verrattuna kymmenkertaista.

Nautelan tulokset on käsitelty tässä työssä sameuksina johtuen liian vähäisestä vesinäytemäärästä. Sameuksissa havaittiin hyvin pienten virtaamien aikana epävarmoja tuloksia. Näitä aiheuttivat muun muassa erittäin voimakas laitteiden likaantuminen. Voimakas likaantuminen vaatii laitteiden puhdistuksen vähintään viikon välein lämpimän veden aikaan, mikäli virtaamat ovat hyvin pieniä. Tällöin lika pääsee kerääntymään S::canin mittaikkunaan aiheuttaen virhettä tuloksiin.

Nautelan mittausjakson alun sameustulokset vaihtelivat suuresti elokuun alusta syyskuun alkupuolelle saakka. Osittain tämä johtuu kohteessa tehdyistä muokkaustöistä, jotka aiheuttivat hetkellisiä samentumia. Tällä jaksolla vesistöissä havaittiin myös korkeaa perustuotantoa, joka aiheutti laitteiden silminnähtävää likaantumista nopeasti. Laitteisiin oli hetkittäin myös kerääntynyt likaa, jotka aika ajoin saattoivat heilahtaa mittausikkunan eteen mittaushetkellä. Osa samentumista on mahdollisesti aiheutunut vesihyönteisistä.

Kuviossa 31 Nautelan sameustuloksissa nähdään mittauslaitteen likaantuminen ennen puhdistusta sekä puhdistuksen vaikutus mittaustuloksiin. Mittalaitteen oman puhdistuksen lisäksi manuaalinen puhdistus lisää luotettavan aineiston saamista, ja tästä syystä tulee kunkin kohteen huoltovälien suunnittelun perustua veden todelliseen laatuun. Huoltoväliä tulisi myös pystyä muuttamaan tarpeiden mukaan. Pienillä virtaamilla lian kerääntyminen laitteisiin on todennäköisempää, ja se voidaan havaita datassa mittaustulosten jatkuvana hitaana nousuna. Myös suuret virtaamat vaativat huomiota, sillä ne voivat kuljettaa mukanaan mittalaitteisiin takertuvia roskia.

mittainen voimakas sade, josta aiheutunut kuormitus on kulkeutunut vesistön läpi nopeasti.

4.3 Ravinnekuormitus

Krapuojalla ravinnekuormitushuiput noudattivat virtaamahuippuja. Krapuojalla virtaamahuippujen voidaan todeta olevan merkittäviä kuormittajia. Suurin osa Krapuojan kokonaistyyppikuormituksesta oli nitraattityppeä. Krapuojan fosforipitoisuuksissa havaittiin korkeita tuloksia heinä-lokakuussa 2009. Tuona ajankohtana virtaama oli pientä ja vesi seisovaa. Vesistössä ilmeni lämpimän veden aikana tyypillinen ilmiö, jossa fosfori sitoutuu vesistön tuottavaan kerrokseen ja kiertää nopeasti. Ravinnetase pysyy talvista suurempana elävän biomassan ansiosta. (Oravainen 1999, 19)

Nautelan jatkuvatoimista veden laadun aineistoa ei pystytty luotettavasti muuntamaan kuormituslaskelmiksi. Vesinäytteitä saatiin liian vähän erilaisissa tilanteissa ja näytteiden vaihteluväli oli liian pieni. Vesinäytteitä tulee ottaa lisää mittausten jatkuessa.

Nautelan nitraattitulokset ovat toisistaan eriäviä mittausjakson alussa. Lähtevän mittauspisteen tulosten hajonta oli huomattavaa eikä sen mittaustuloksissa ollut mitään perustasoa. Tämän havaittiin johtuvan laitteeseen kerääntyneestä raudasta. Mittauslaitetta puhdistettiin maastossa myös manuaalisesti, mutta tämä ei vaikuttanut datan laatuun. Tästä aiheutui reilun kuukauden mittainen datakatko, jonka jälkeen laite alkoi mitata toista laitetta huomattavasti matalampia arvoja. Laitteet olivat huollossa lokakuun puolivälissä, jonka jälkeen niiden tulokset olivat yhteneväisiä. Tuloksissa olivat myös samankaltaisia sameus- ja virtaamadatajen kanssa.

Jokiojalta otettiin 5 vesinäytettä. Näistä neljän näytteen kiintoaine-, sameus- ja ravinnetulokset ovat lähellä toisiaan, ja ainoastaan yhden näytteen tulokset olivat korkeita. Luotettavuuden lisäämiseksi tulisi näytteitä saada lisää ainakin

pienen ja suurten arvojen väliltä. Vesinäytteitä tullaan täydentämään mittausten jatkuessa.

Jokiojalla kuormitushuippujen havaittiin noudattavan virtaamahuippuja sekä fosforin että typen osalta. Virtaamahuiput olivat Jokiojalla tämän mittausjakson aikana siis merkittäviä ravinnekuormittajia. Kuviosta 36 nähdään, että suurin osa Jokiojan kokonaistypen kuormituksesta on nitraattityppeä.

4.4 Vesinäytteet

Jatkuvatoimiset mittalaitteet tarvitsevat tuekseen kalibrointinäytteitä. Kalibrointinäytteet otetaan mittauspisteestä manuaalisesti ja analysoidaan laboratoriossa, jonka käyttämien analyysien menetelmät perustuvat kansainvälisiin standardeihin. Kalibrointinäytteiden avulla saadaan jatkuvatoimisten mittalaitteiden parametreille oikeat mittaustasot, sekä laskettua sellaisia kuormitusarvoja joita jatkuvatoimiset mittalaitteet eivät suoraan mittaa. Jatkuvatoimisella mittaamisella saadaan laaja sekä kattava aineisto kunkin vesistön veden laadusta. Niiden taso ja laatu pystytään varmentamaan vesinäytteillä.

Yksittäisessä vesinäytteessä ei näy veden laadussa tapahtuvia muutoksia. Vesinäytteessä on hetkellinen otos vesistön sen hetkisestä tilasta. Tällöin vesinäytteet pitäisi pystyä ajoittamaan mahdollisimman erilaisiin veden laadullisiin ja virtaamatilanteeseen, jotta niiden avulla saataisiin tarpeeksi luotettava aineisto esimerkiksi kiintoaineen kokonaiskuormituksen määrittämiseen. Jatkuvatoiminen mittalaitteisto mittaa siis aineistoa, jossa näkyy sellaisetkin muutokset joita yksittäisellä vesinäytteellä ei saada.

Mikäli jatkuvatoimisten mittalaitteiden ja kalibrointinäytteiden tulokset eriävät toisistaan selvästi, on syytä epäillä laitteiden kalibroinnin onnistumista, anturin kuntoa tai laitteen toimivuutta ylipäätään. Joissakin tapauksissa on syytä epäillä myös laboratorioanalyysien onnistumista. Tällaisissa tapauksissa

jatkuvatoimisten mittalaitteiden mittaustasojen oikeellisuus pystytään jäljittämään rinnakkaisella mittalaitteella.

Laboratoriomääritykset tulisi teettää aina samassa laboratoriossa koko mittausjakson ajan. Eri laboratorioissa voi olla toisistaan poikkeavia määrittystapoja, joka voi aiheuttaa eriävyyksiä määrittystuloksiin. Tällöin muunnoskaavojen luotettavuus kärsii.

Joissain tapauksissa vesinäytteiden tuloksiin saattaa vaikuttaa esimerkiksi huomattavan pieni virtaama, jolloin vesi viipyy mittauspisteessä pidempään. Tällöin fosfori saattaa esiintyä liukoisessa muodossa, joka näkyy vesinäytteiden tuloksissa eriävinä arvoina. Tällaiset eriävät arvot tekevät muunnoskaavoista epäluotettavampia siitakin huolimatta, että vesinäytteitä on pyritty ottamaan mahdollisimman erilaisissa tilanteissa. Tällaisissa tilanteissa voidaan muodostaa eri muunnoskaavat eri ajanjaksoille, jotta laskelmista saadaan mahdollisimman kuvaavat.

Useammissa tapauksissa vesinäytteitä tarvitaan tarpeeksi suuri määrä, jotta niistä saadaan kuormitusten laskemiseen tarpeeksi kattava aineisto erilaisista veden laadullisista tilanteista. Mitä parempi selitysaste on, sen luotettavampana voidaan tuloksia pitää erilaisissa tilanteissa.

4.5 Tekniset ja ympäristötekijät

Korkealaatuisen aineiston saaminen vaatii monien asioiden huomioimista, sekä teknisesti että ympäristötekijöiden puolesta. Laitteistoja asennettaessa tulee huomioida, että lähetysyksiköillä on tarpeeksi kuuluvuutta, jotta ne pystyvät toimimaan edellytetyllä tavalla. Laitteistoille virtaa tuovien akkujen säännöllinen lataus ja vaihtaminen kuuluvat perushuoltotoimenpiteisiin. Virtalähteinä tulee käyttää korkealaatuisia, maastokäyttöön soveltuvia akkuja. Säiden kylmetessä lyhenee akkujen latauksen kesto, joka on huomioitava huoltokäyntejä tehdessä. Tällöin on suositeltavaa ottaa aina mukaan täyteen ladattu akku, jonka voi vaihtaa tarvittaessa. Monissa kohteissa on käytetty säiden kylmenemisen myötä

myös kahta akkua rinnakkain. Laitteet tulee huoltaa ja puhdistaa mahdollisista roskista jokaisella huoltokäynnillä. Roskaantuminen saattaa aiheuttaa esimerkiksi sameudessa virheellisiä arvoja, jotka eivät kerro veden todellista laatua. Laitteiden säännöllinen puhdistus ja huolto tekevät datasta luotettavampaa.

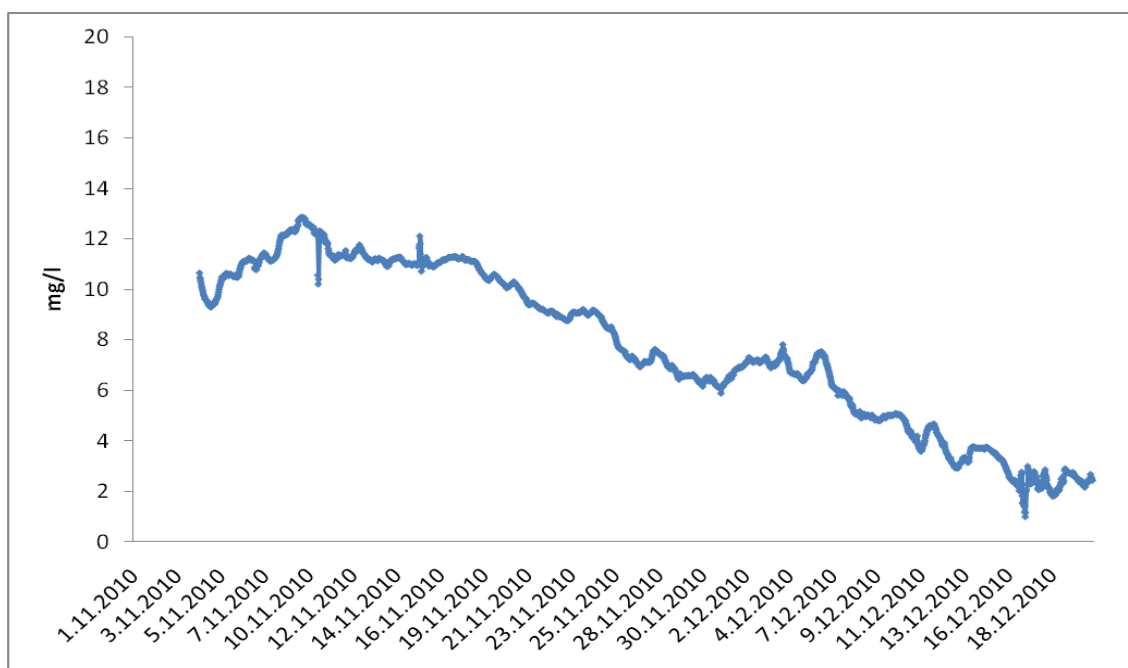
Huoltovälit määritetään aina jokaiselle kohteelle erikseen. Korkea perustuotanto tai muunlainen likaantuminen, kuten kalan mäti, saattaa aiheuttaa arvojen hidasta muutosta suuntaan tai toiseen. Tämä on virhelähde tuloksissa, ja laitteistoja tulee puhdistaa tällaisissa vesistöissä tarpeeksi usein. Myös kasvillisuus asettaa omat haasteensa mittaamiselle. Rehevän kasvillisuuden alueella saattaa aiheutua laitteiden roskaantumista, joka näkyy tuloksissa virhearvoina. Laitteet tulisi asentaa aina niin, että riski niiden roskaantumiselle ja kasvillisuuden aiheuttamille muille häiriötekijöille on mahdollisimman pieni.

Jokaisella kohteella on myös oltava oma huoltolomakkeensa, johon kirjataan aina samat huoltoon ja muihin havaintoihin liittyvät asiat. Lomakkeen lisäksi on suositeltavaa tehdä asialliset maastomuistiinpanot, joissa voidaan kuvailla vallitsevia olosuhteita tai muita huomioita laajemmin. Jokaisesta maastokäynnistä tulee jäädä jälki, jonka perusteella pystytään jälkikäteen tarkastamaan tehdyt toimenpiteet ja silloiset tilanteet.

Laitteistojen kohdalla on myös huomioitava, että monet anturit eivät siedä kuivumista. Laitteistojen tulee siis säilyä veden alla mittausten ollessa käynnissä, jottei anturirikkoja tapahdu tai virheellistä dataa synny. Tämä on otettava huomioon asennuksia ja niiden syvyyksiä suunniteltaessa.

Kalibroinnit tulee suorittaa säännöllisin väliajoin laitevalmistajan suositusten mukaisesti. Kalibroinnin yhteydessä suoritetaan aina tarvittavat huoltotoimenpiteet korkealaatuisen datan varmistamiseksi. Riittävän useilla kalibroinneilla mahdollistetaan laadukas data ja vähennetään virhedatan määrää. Jokaisen anturin kunto tarkastetaan aina kalibroitien yhteydessä ja rikkiäiset vaihdetaan välittömästi uusiin, jotta datan laatu pysyy korkeana.

Kuviossa 32 on nähtävissä moniparametrisondin mitaamat happipitoisuudet Jokiojalla. Kuviossa näkyy laskeva happipitoisuus. Anturi olisi kaivannut kalibrointia jo vajaan kolmen viikon mitaamisen jälkeen. Hapen mittaaminen kohteessa oli kuitenkin toissijainen asia, jolloin mitattu data toimii hyvänä esimerkkinä laitteiden kalibrointisyklin tärkeyden todentamisessa.



Kuvio 32. Jokiojan moniparametrisondin mitaama happidata.

Tulosten etäseuranta nettisivujen kautta on suositeltavaa toteutettavaksi säännöllisesti ja mahdollisimman usein, esimerkiksi aina työpäivän aluksi. Jos häiriöitä ilmenee, tulee siihen reagoida nopeasti, jotta virheellisen datan määrä jää mahdollisimman pieneksi. Jossain tapauksissa data ladataan manuaalisesti, jolloin sen lataussykli tulee suunnitella etukäteen, ja sen toteutumisesta huolehtia säännöllisesti. Raakadata tulee tallentaa huolellisesti, jotta alkuperäinen, muokkaamaton data on aina jäljitettävissä.

Sääolosuhteet ja veden hydrologinen kierto vaikuttaa aina aineistoon. Aineiston jatkokäsittelyn helpottamiseksi on suositeltavaa kuvata kohteesta vakioidut kohdat jokaisella käynnillä. Tällöin vallitsevista sääolosuhteista on selkeä dokumentti. Valokuvien avulla nähdään kulloinenkin tilanne maastossa, ja

pystytään dokumentoimaan vallitsevat olosuhteet sellaisenaan, joita ei välttämättä maastomuistiinpanoihin tule kirjattua.

Aineiston laatuun vaikuttavat tekijät tulee huomioida jo ennen laitteiden asentamista, tai viimeistään siinä vaiheessa kun niitä ilmenee. Joissakin kohteissa saattaa olla poikkeuksellisen korkea perustuotanto lämpimän veden aikaan, joka aiheuttaa laitteistojen likaantumista nopealla tahdilla. Tällaisissa kohteissa tulee huoltovälit järjestää sen mukaisesti ja laitteet puhdistaa tarpeeksi usein. Tämä ongelma poistuu vesien viiletessä ja perustuotannon vähentyessä.

Tulosten laatuun voi eri vuoden aikoina vaikuttaa erilaiset asiat perustuotannon lisäksi. Turun ammattikorkeakoulun projekteissa dokumentoituja virhelähteitä ovat muun muassa olleet kalojen mätä mittalaitteissa, antureita suojapaikkoinaan käyttävät vesihyönteiset kuten juotikkaat, kasvillisuuden aiheuttama roskaantuminen ja riite vesien jäätyessä.

5 JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Datakatkot pystytään minimoimaan tarpeeksi useilla huoltokäynneillä ja huolellisella rutiininomaisella työskentelyllä. Sekä tekniset että ympäristölliset tekijät vaativat säännöllistä tarkastusta, huoltoa ja välitöntä reagointia virheelliseen dataan. Virheellinen data on harvoin jälkikäteen korjattavissa ja näin ollen käytettävissä, jonka takia ennaltaehkäisy on erittäin tärkeä tekijä tulosten laadun varmistamisessa.

Kuormitusarvioista saadaan sitä luotettavampia, mitä useammasta eri vedenlaatu- ja virtaamatilanteesta vesinäytteitä on jatkuvatoimisen aineiston rinnalla. Vesinäytteiden oton ajoittaminen helpottuu veden laadun etävalvonnan avulla ja suunnitelmallisella työskentelyllä.

Jatkuvatoimisten mittalaitteiden käyttö sopii hyvin virtaaviin vesiin veden laadun todentajaksi sellaisiin paikkoihin, joissa vettä virtaa riittävästi koko mittausjakson ajan. Hyvin pienillä virtaamilla ja seisovissa vesissä likaantumisen riski kasvaa ja se saattaa aiheuttaa dataan virheitä. Tämä tulee aina huomioida mittauksia ja laitteiden asetteluja suunnitellessa.

LÄHTEET

Alakukku, L.; Hartikainen, H. & Puustinen, M. 2008. Kiintoaines- ja fosforikuormitus kuriin eroosion torjunnalla. *Aquarius* 1/2008, 6–8.

Calibration, Maintenance & Troubleshooting Tips. YSI Incorporated 2010. <http://www.YSI.com/media/pdfs/YSI-Calibration-Maintenance-Troubleshooting-Tips-6-Series-Sondes-2-8-10.pdf> Päivitetty 8.2.2010. Viitattu 21.1.2011, 25.1.2011.

EU:n vesipolitiikan puitesäädöksi. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Ympäristöministeriö 2011. Päivitetty 27.1.2011. Viitattu 3.3.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=54528&lan=FI>.

Fosfori. Itämeriportaali. Suomen ympäristökeskus; Ilmatieteenlaitos & Ympäristöministeriö 2010. Päivitetty 12.5.2010. Viitattu 11.3.2011. http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/sanakirja/fi_FI/fosfori/.

Fosforin kierto. Itämeriportaali. Suomen ympäristökeskus; Ilmatieteenlaitos & Ympäristöministeriö 2010. Päivitetty 17.5.2010. Viitattu 11.3.2011. http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/sanakirja/fi_FI/fosforinkierto/

GWM Engineering. Viitattu 1.4.2011. <http://www.gwm-engineering.fi/flowtracker1.html>.

Hauta–Aho S. 2004. Sedimentin hapenkulutus ja siihen vaikuttavat tekijät Pohjoisen Itämeren rannikkoalueilla. Pro gradu – työ. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Helsinki: Helsingin yliopisto. Viitattu 4.3.2011. Saatavissa myös <http://www.helsinki.fi/biosci/environment/opinnaytteet/2000/2004-Hauta-aho.pdf>.

Helsinki Commission 2009. Eutrophication in the Baltic Sea. Baltic Sea Environment Proceedings No. 115B. Helsinki: Helsinki Commission.

Huttula T.; Bilaletdin E.; Härmä P.; Kallio K.; Linjama J.; Lehtinen K.; Luotonen H.; Malve O.; Vehviläinen B. & Villa L. 2009. Ympäristön seurannan menetelmien kehittäminen. Automatisointi ja muut uudet mahdollisuudet. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 13/2009. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Huttula T.; Lindfors A. & Kiirikki M. 2004. Vedenlaadun seuranta automatisoituu. *Vesitalous* 5/2004, 29–32.

Härjämäki, K. & Hagelberg, E. 2007. Laukanlahti, Ruovikkoalueen ja lähiympäristön hoidon ja käytön yleissuunnitelma. 2007LOSra 9/2007.

Itämeren ravinnepäästöille enimmäisrajat ja rantavaltioille vähennysvelvoitteet. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Ympäristöministeriö 2007. Viitattu 7.3.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=256194&lan=fi>.

Knuuttila S. 2007. Sairaukset: Itämeri. *Duodecim* 2007; 123: 1409–15. Viitattu 4.3.2011. <http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo96574.pdf>.

Korhonen J. 2007. Suomen vesistöjen virtaaman ja vedenkorkeuden vaihtelut. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Yliopistopaino.

Kulmala, A. Uusia tehokeinoja maatalouden vesiensuojeluun. *Aquarius* 1/2008, 13–14.

Lepistö, A.; Huttula, T.; Granlund, K.; Kallio, K.; Kiirikki, M.; Kirkkala, T.; Koponen, S.; Koskiahho, J.; Liukko, N.; Malve, O.; Pyhälä, T.; Rasmus, K. & Tattari, S. 2010. Uudet menetelmät ympäristöntutkimuksessa ja seurannassa – pilottina Säkylän Pyhäjärvi. Suomen ympäristö 9/2010. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Lillunen, A.; Härjämäki, K.; Riiko, K.; Yli-Renko, M.; Kulmala, A.; Koskinen, J.; Lundström, E. & Kaasinen, S. 2011. Kotopellolta rantalohkolle – Tehoa maatalouden vesiensuojeluun. TEHO-hankkeen julkaisuja 5/2011. TEHO-hankkeen (2008-2011) loppuraportti. Helsinki: Edita Prima Oy. Saatavissa myös: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=380282&lan=fi&clan=fi>.

Luode Consulting. Viitattu 31.3.2011. <http://www.luode.net/>

Muttillainen H. 2009. Palojoki Jokelan taajamassa – kuormitus selvitys. Opinnäytetyö. Kestävän kehityksen koulutusohjelma. Hyvinkää: Laurea-ammattikorkeakoulu.

Nyroos H.; Partanen - Hertell M.; Silvo K. & Kleemola P. 2006. Vesiensuojelun suuntaviivat vuoteen 2015. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.

Oravainen, P. 1999. Opasvihkonen vesistötulosten tulkitsemiseksi havaintoesimerkein varustettuna. Viitattu 5.4.2011. <http://www.kvvy.fi/opasvihkonen.pdf>.

Perttilä, M. Typen kierto. Itämeriportaali. Ilmatieteenlaitos. Suomen ympäristökeskus; Ilmatieteenlaitos & Ympäristöministeriö 2003. Päivitetty 26.3.2003. Viitattu 11.3.2011. http://www.itameriportaali.fi/fi/tietoa/uhat/rehevoityminen/fi_FI/typen_kierto/_print/

Ravinteiden kierto. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Suomen ympäristökeskus. Päivitetty 10.11.2009. Viitattu 10.3.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=339757&lan=FI>

Salo, T. 2009. Peltomaassa runsaat fosforivarastot. MTT Luonnonvara-puntari. Päivitetty 27.10.2009. Viitattu 3.3.2011. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Luonnonvarapuntari/Ymp%E4rist%F61/Vesist%F6kuormitus/Fosfori>.

Salo, T. 2010. Vähemmällä tyellä enemmän satoa. MTT Luonnonvara-puntari. Päivitetty 29.3.2010. Viitattu 3.3.2011. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Luonnonvarapuntari/Ymp%E4rist%F61/Vesist%F6kuormitus/Typpi>.

Särkelä, A.; Lahti, K.; Vahtera, H.; Penttilä, S. & Ahtela, I. 2006. Automaattinen veden laadun seuranta avuksi hajakuormituksen arviointiin. Vesitalous 4/2006, 20–25.

The BACC Author Team 2008. Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin. Berliini: Springer.

Turtola, E. 2008. Peltojen ravinnetaseet parantuneet – mutta vesistövaikutukset vähäisiä. Aquarius 1/2008, 4–5..

Valkama P.; Lahti K. & Särkelä A. 2010. Automaattimittauksilla tarkkaa tietoa maatalouden vesistökuormituksesta. Vantaanjoen ja Helsingin seudun vesiensuojeluyhdistys ry.

Valkama P.; Lahti K. & Särkelä A. 2008. Fosfori- ja typpikuormituksen muodostuminen Lepsämänjoessa kevät- ja syysvuorokauden tilanteissa. Vesitalous 5/2008, 26-30.

Valste, J.; Airamo, S.; Holopainen, M.; Koivisto, I.; Suominen, T. & Viitanen, P. 2002. Biologia Elämä. 6., uudistettu painos. Porvoo: WSOY.

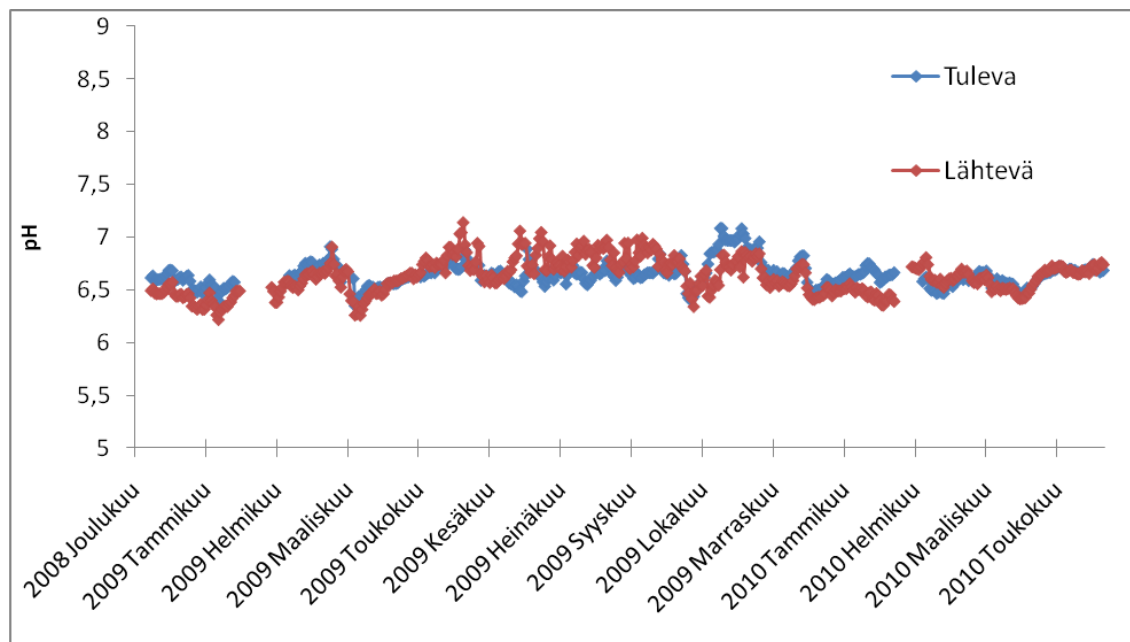
Valtioneuvoston periaatepäätös vesiensuojelun suuntaviivoista vuoteen 2015. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Ympäristöministeriö 2009. Päivitetty 7.1.2009. Viitattu 3.3.2011. <http://www.environment.fi/default.asp?node=5227&lan=fi>.

Valuma-alue. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Uudenmaan ympäristökeskus 2010. Päivitetty 1.7.2010. Viitattu 3.3.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=8550&lan=fi>.

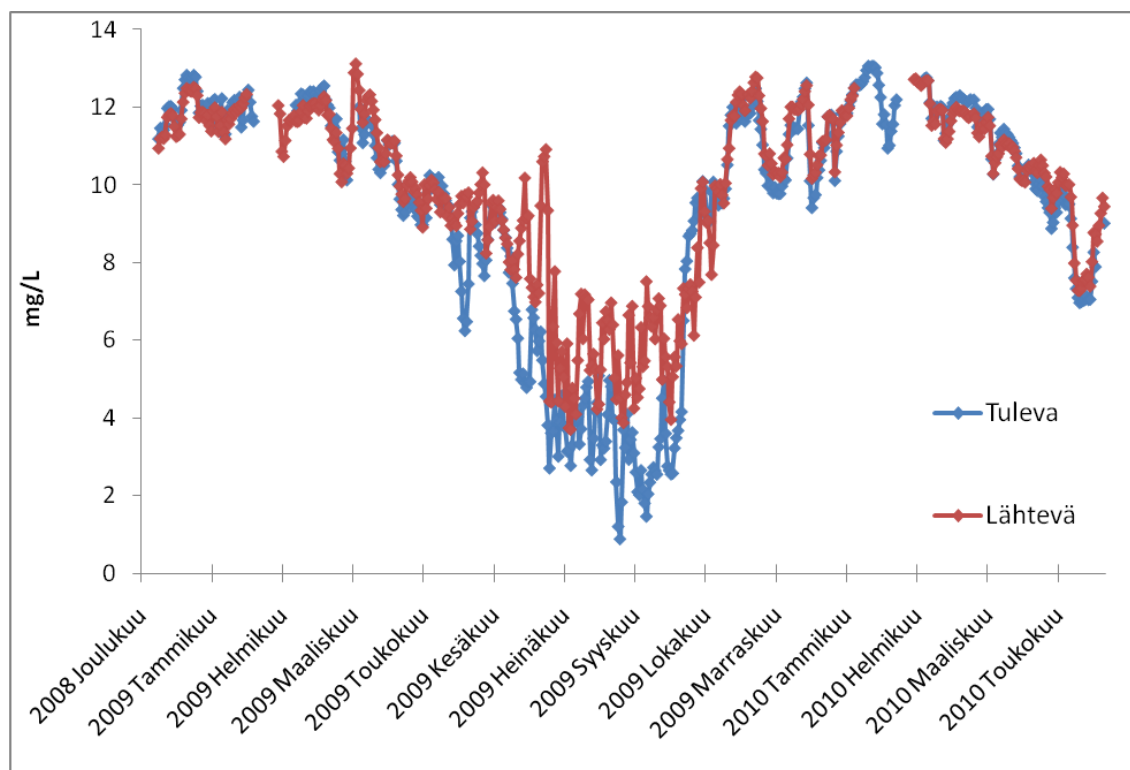
Vesistöjen veden laadun seurannat. Ympäristöhallinnon verkkosivut. Etelä-Savon ympäristökeskus 2005. Viitattu 3.3.2011. <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=124128&lan=FI>.

Vesitalouden verkkokirja, Aalto Yliopisto. viitattu 13.1.2011. <http://www.water.tkk.fi/wr/kurssit/verkkokirja/havainnot.html#virt>.

Krapuojan pH ja happipitoisuus

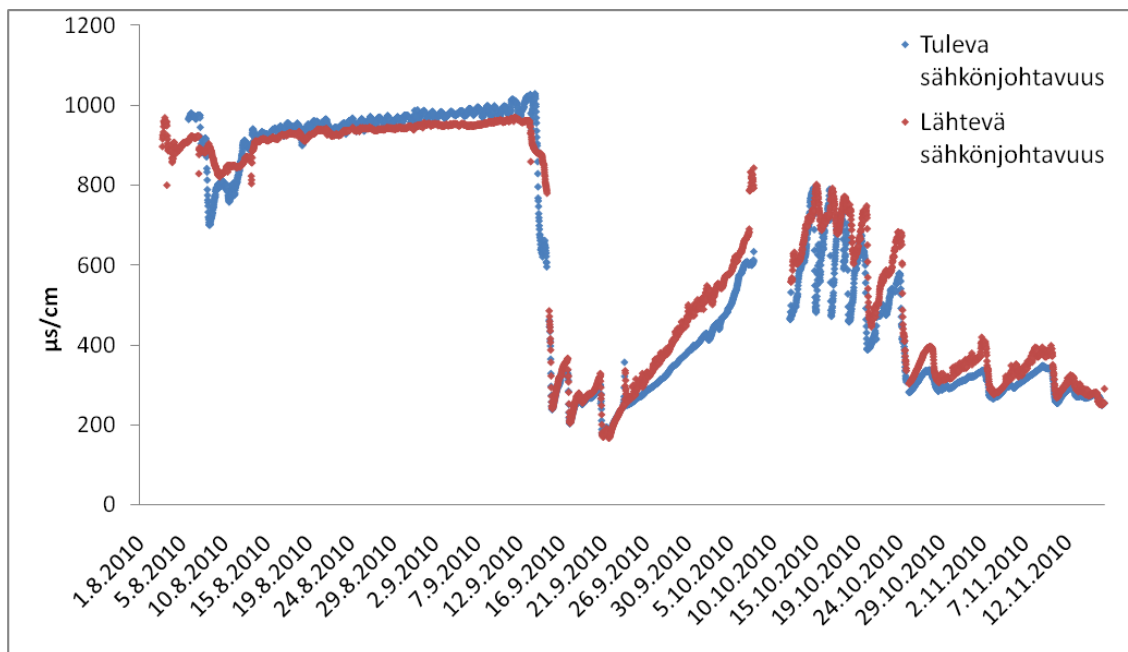


Kuvio 1. Krapuojan tulevan (N=22889) ja lähtevän (N=24200) veden pH:n vuorokausikeskiarvot.

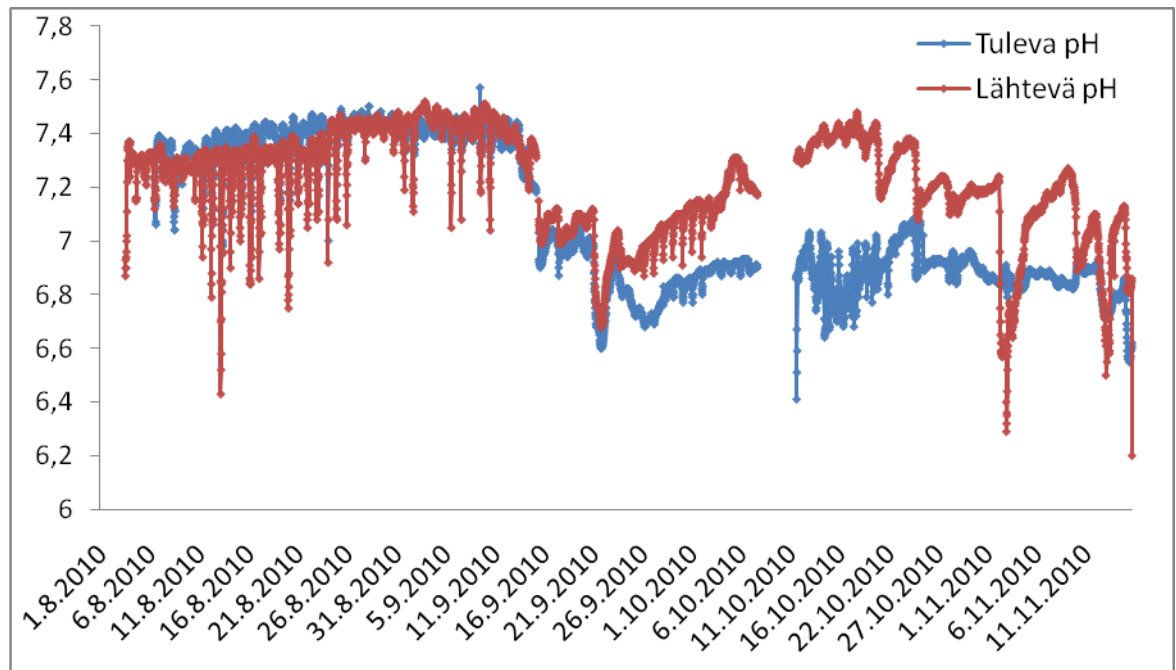


Kuvio 2. Krapuon tulevan (N=22887) ja lähtevän (N=22994) veden happipitoisuuden vuorokausikeskiarvot.

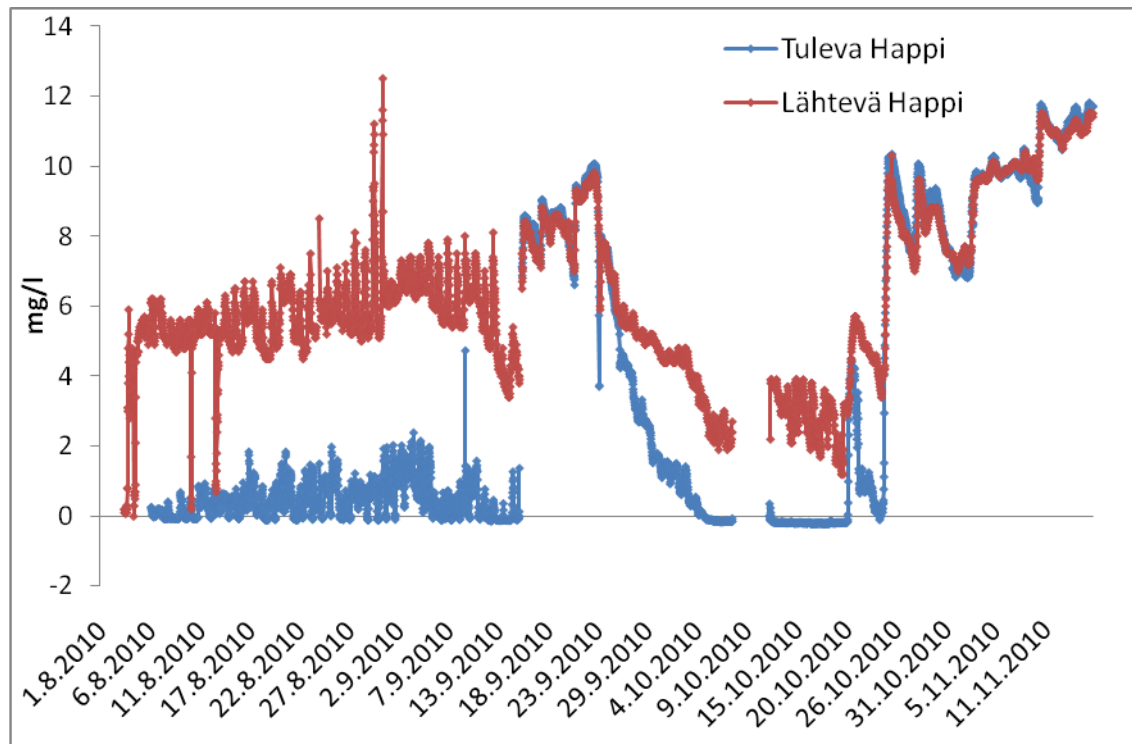
Nautelan sähkönjohtavuus, pH ja happipitoisuus



Kuvio 1. Nautelan tulevan (N=4662) ja lähtevän (N=4796) mittauspisteen veden sähkönjohtavuuden tulokset.

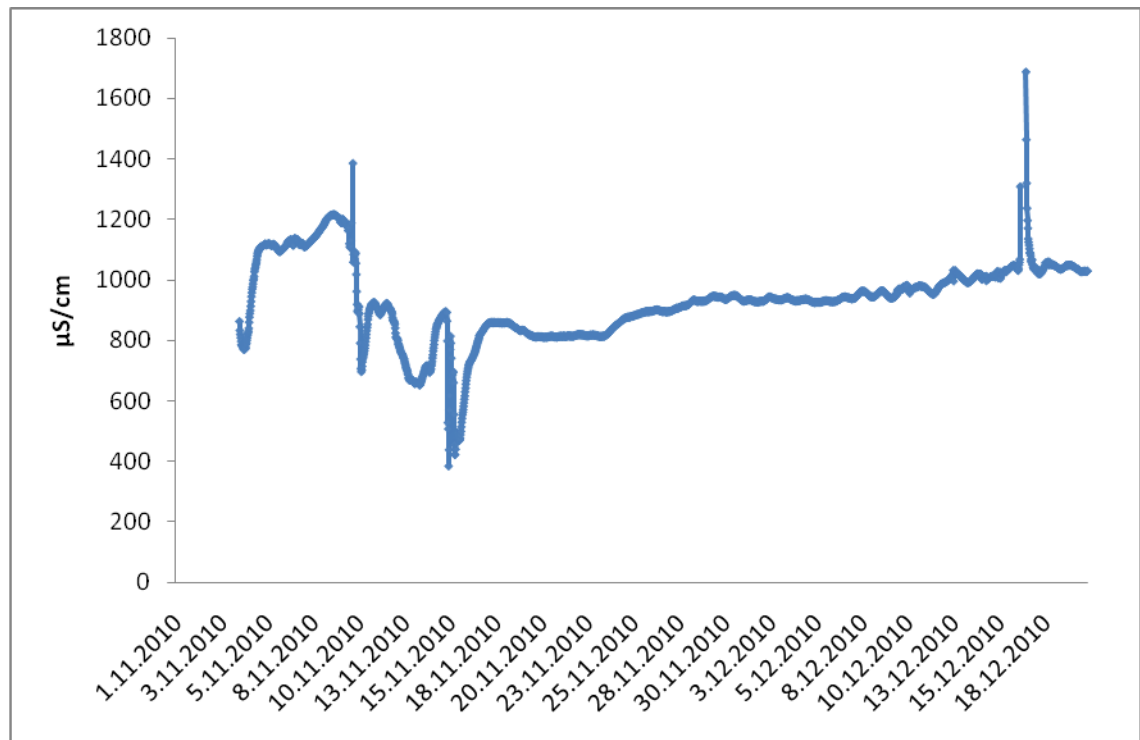


Kuvio 2. Nautelan tulevan (N=4662) ja lähtevän (N=4797) mittauspisteen veden pH:n tulokset.



Kuvio 3. Nautelan tulevan (N=46623) ja lähtevän (N=4797) mittauspisteen veden happipitoisuuden tulokset.

Jokiojan sähkönjohtavuus



Kuvio 1. Jokiojan mittauspisteen sähkönjohtavuus (N=2190).